

Cirrus HD-OCT

Cirrus HD-OCT

川瀬和秀*

はじめに

眼科診療における光干渉断層計 (OCT) の使用は、1997年にHumphrey社(現Carl Zeiss Meditec社)からtime-domain OCTであるOCT2000が発売されてから始まった。当時は解像度10 μ m、スキャンスピード100A-scan/secではあったが、黄斑部の断層像が確認できたため黄斑円孔や黄斑浮腫の治療は一足飛びに進化した。しかし、緑内障診療に使用するためには精度の点で問題があった。5年後にスキャンスピードが400A-scan/secと約4倍になった後継機種であるStratus OCT3000が発売された。視神経乳頭の形状変化は確認できるが網膜各層を描出できる画像は得られず、緑内障診療に必要な精度には至っていなかった。現在使用されているspectral-domain OCTであるCirrus HD (High Definition)-OCTは解像度が約2倍となり、1秒間当たりの取得画像数は27,000枚と67倍に進歩した。このた

め、網膜は網膜各層を組織学レベルで確認することが可能となった(表1, 図1)。もちろん、この解像度の向上は、time-domain方式がspectral-domain方式に変わったことだけで達成できたものではない。測定精度の向上のためオートフォーカスやEye-Tracking機能はもちろんのこと、より精密な画像を提供するために、いくつかの画像を解析することによりノイズを減らすことが可能な加算平均処理機能や、以前の画像と比較をするために網膜血管の位置を照合させる高度な自動位置補正機能といった、現在のデジタルカメラで最も進化した領域でもある画像処理エンジンを搭載することで可能となった。

I 他社製品との比較

現在、眼科臨床に使用可能なOCTは8社から発売されている。おもなものとして、カールツァイス社のCirrus HD、トプコン社の3D OCT-2000、ハイデルベル

表1 Cirrus HD-OCT vs. Stratus OCT3000 (カールツァイス社資料)

	Cirrus HD-OCT	Stratus OCT3000	Cirrus HD-OCTの利点
光源(スーパールミネッセンスダイオード光: SLD)	840nm (± 50 nm) 広帯域	820nm (± 30 nm)	波長が広帯域のため高解像度
方式	スペクトラルドメイン (SD)	タイムドメイン (TD)	測定時間が迅速
深度(軸方向) 解像度	5 μ m	10 μ m	網膜各層を解剖レベルで表現でき、極微細な病巣、病態が描出可
横断面(横方向) 解像度	10~20 μ m	20 μ m	
データポイント(横方向)	4,096	512	網膜各組織を詳細に捉えることが可能
深 度	2mm	2mm	波長が広帯域のため測定深度が多少深くなった
1秒間当たりの取得画像数	27,000	400	測定時間が迅速なため3D構築が可能

* Kazuhide Kawase: 岐阜大学医学部眼科学教室
 [別刷請求先] 川瀬和秀: 〒501-1194 岐阜市柳戸1-1 岐阜大学医学部眼科学教室

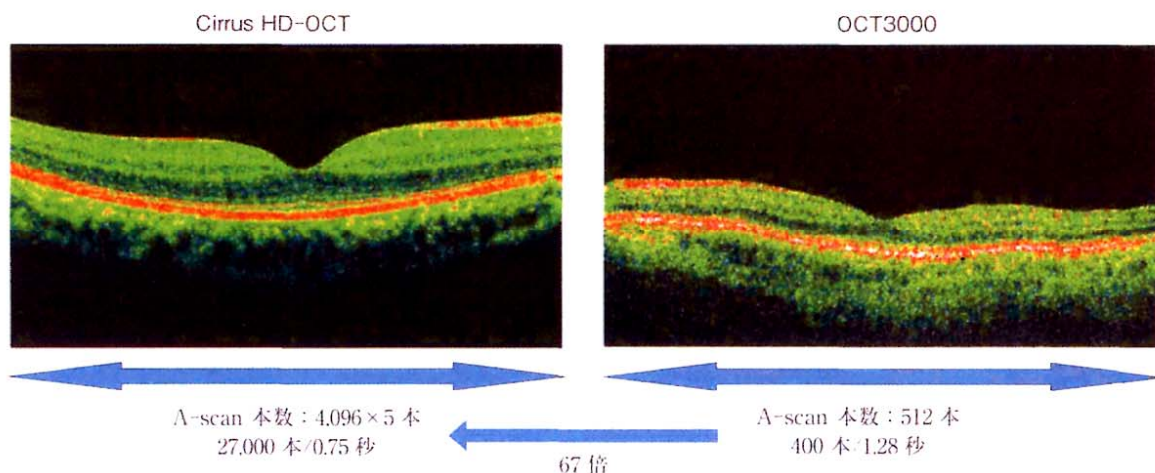


図1 Cirrus HD-OCT vs. OCT3000

グ社の HRA (Heidelberg Retina Angiograph)-OCT Spectralis, オプトビュー社の RTVue-100, オプトボール社の Optopol SPOCT-HR の 5 機種について比較してみた(表 2a, b). Cirrus HD-OCT は, 他社製品に比べて検査可能な最小瞳孔径が小さく解像度が高いことがわかる. トプコンの 3D-OCT は画角が広く, カラー眼底写真が撮影可能であるなどの網膜疾患の診療に有利な

条件から比べると, 緑内障の診療に有利な条件であると考えられる. 緑内障の診療に有用なソフトとして, 網膜神経線維層厚の測定はどの機種も用意されており早期緑内障の診断や鑑別診断に活躍している. 現在は, 緑内障に関する OCT の機能に関しては過渡期にあり搭載の有無が分かれているが, 今後は同様な機能が搭載されてくると考えられる. ソフトの場合は機能そのものよりも

表 2a SD-OCT の比較 (光学系・性能・機能) (カールツァイス社資料)

	Cirrus HD-OCT	RTVue-100	Topcon 3D OCT-2000	Heidelberg Spectralis OCT	Optopol SPOCT-HR
画角	36°×30°	32°×23°	45°	30°×30°	26°×21°
最小瞳孔径	2.5	3	4	3	3
眼底撮影	LSO	IR	カラー眼底写真 (FAG, ICG)	CSLO	IR
軸方向解像度 (μm)	5	5	6	7	3
横断面解像度 (μm)	10~20	15	20	14	12~18
スキャン速度 (A-scan/sec)	27,000	26,000	27,000	40,000	52,000
測定範囲 (深度) (mm)	2	2~2.3	2	1.8	2
眼底屈折調整範囲	-20~+20D	-15~+12D	-27~+18D	NA	NA
スキャン長 (mm) とパターン	3~9, 6	2~12, 12	8, 2, 4	NA, 6	4~10, 6
眼底像と OCT 画像の registration	有	無	有	有	無
硝子体・脈絡膜撮影	有 (2011 夏導入)	有	有	有	無
前眼部撮影	オプション	オプション	オプション	NA	NA

表 2b SD-OCT の比較 (解析プロトコル) (カールツァイス社資料)

	Cirrus HD-OCT	RTVue-100	Topcon 3D OCT-2000	Heidelberg Spectralis OCT	Optopol SPOCT-HR
網膜厚測定解析 網膜厚・体積解析 カラーマップ解析	有	有	有	有	有
セグメンテーションマップ	有	有	無	無	無
網膜厚 C スキャン (横方向スライス)	有	有	有	無	有
網膜厚・体積経過観察プログラム	有	有	有	有	無
網膜厚 年齢別正常データベース	有	有	有	無	有
網膜神経線維層厚 測定解析	有	有	有	有	有
網膜神経線維層厚 年齢別正常データベース	有	有	有	有	有
網膜神経線維層厚 経過観察プログラム	有	有	有	無	有
視神経乳頭形状解析	有	有	有	無	有
網膜厚・網膜神経線維層厚 3D 構築	有	有	有	有 (制限あり)	有
GCC (ganglion cell complex)	有 (2011 夏導入)	有	有	無	無

解析法や表現法により、見やすさや使いやすさに違いがでてくるため、今後どれだけ改良されていくかという点が重要である。現在、最新技術を駆使した SD-OCT の精密な画像と高い再現性より、視神経乳頭形状や GCC (ganglion cell complex: 神経線維層 + 神経節細胞層 + 内網状層) の計測や経過観察により、測定値の変動が大きい自覚的検査である視野検査に代わり、測定値が安定し誤差が少ない他覚的検査によって緑内障性視神経障害の進行の指標が解析されるプログラムとして確立されることが重要なポイントとなる。

II Cirrus による測定プログラム

1. Optic Disc Cube 200×200

視神経とその周辺を測定して解析するプログラムで、視神経乳頭を中心として 6mm×6mm 平方をスキャンする。

① Signal Strength: 検査の信頼性を示すデータであり、信号強度 (10 段階) のうち 5 以上を確認する必要がある (GPA では 6 以上が対象)。この数値は、測定の稚拙、角膜乾燥、角膜混濁、白内障、硝子体混濁、縮瞳な

どにより低下する¹⁾。

② Deviation Map: 1 OCT 像、2 RNFL スキャン (直径 3.46 mm)、3 RNFL 厚カラーマップ (50×50 スーパーピクセル)、4 Deviation Map からなり、網膜神経線維層 (RNFL) の障害を検出する。黄色が 5% 未満、赤色が 1% 未満を示す。緑内障の場合、視野異常と神経線維層欠損 (NFLD) との一致を確認することが重要である。

③ Double Hump: RNFL TSNIT Normative Data (乳頭中心から 1.73 mm の円周)。

④ 定量的な網膜神経線維層厚: Average Thickness, Quadrants, Clock Hours が表示されている。正常では上下に peak、耳側と鼻側では trough を認める。緑色は正常範囲、黄色は 5% 未満、赤色は 1% 未満を示す。正常では上下のピークに差がない (下方がやや厚い)。緑内障では上下のピークに明らかな差があり、耳側にくぼみ (Dip)。近視眼では上下のピークが耳側両外側に広がる。ピークが異常に大きい場合は、乳頭周囲の網膜剝離、網膜浮腫などを疑う^{2,3)}。

⑤ 網膜神経線維層厚: 緑色は正常範囲、黄色は 5% 未満、赤色は 1% 未満を示す。Average Thickness は視



図2 Optic Disc Cube
200×200

野障害のMDと有意な二次相関を示す。Average Thickness 70~100 μ mではMDの悪化を認めないことが報告されている³⁾。

2. Macula Cube

黄斑部を中心に6mm×6mmでスキャンし、黄斑を中心とした網膜厚を測定するプログラムである(図3)。黄斑部のOCTデータは緑内障による中心視野障害と相関する。緑内障診療の場合は、視野障害の部位に対応する眼底像における青色の帯(NFLD)および黄斑周囲の網膜厚の障害程度をETDRS(Early Treatment Diabetic Retinopathy Study)グリッドで確認する(図4)。

① 検査眼：Macula CubeはOptic Disc Cubeと異なり片眼ずつ表示される。

② Signal Strength：検査の信頼性を示すデータ。

③ 眼底像：中心窩は青色で表示され、黄斑部の網膜厚が正常～薄い場合は緑～青の順で薄く表示され、厚い

場合は黄～赤～白の順で表示される。

④ ETDRSグリッドは、ILM-RPE(internal limiting membrane-retinal pigment epithelium) thicknessを示し、減少している場合は黄色(5%未満)や赤色(1%未満)で表示される。増加している場合はピンク色(1%未満)で示される。Overlayは、None、OLM-RPE、OCT Fundus、ETDRS positionに変更可能である。ETDRSグリッドの直径は、1mm、3mm、6mmである。

⑤ LSO(laser scanning ophthalmoscope)画像にてETDRSグリッドが、どの部位の網膜厚を表示しているかを確認できる。

⑥ 断層像にて中心窩および傍中心窩の状態を確認する。

⑦ 3D画像にて立体的なNFLDの観察が可能である。

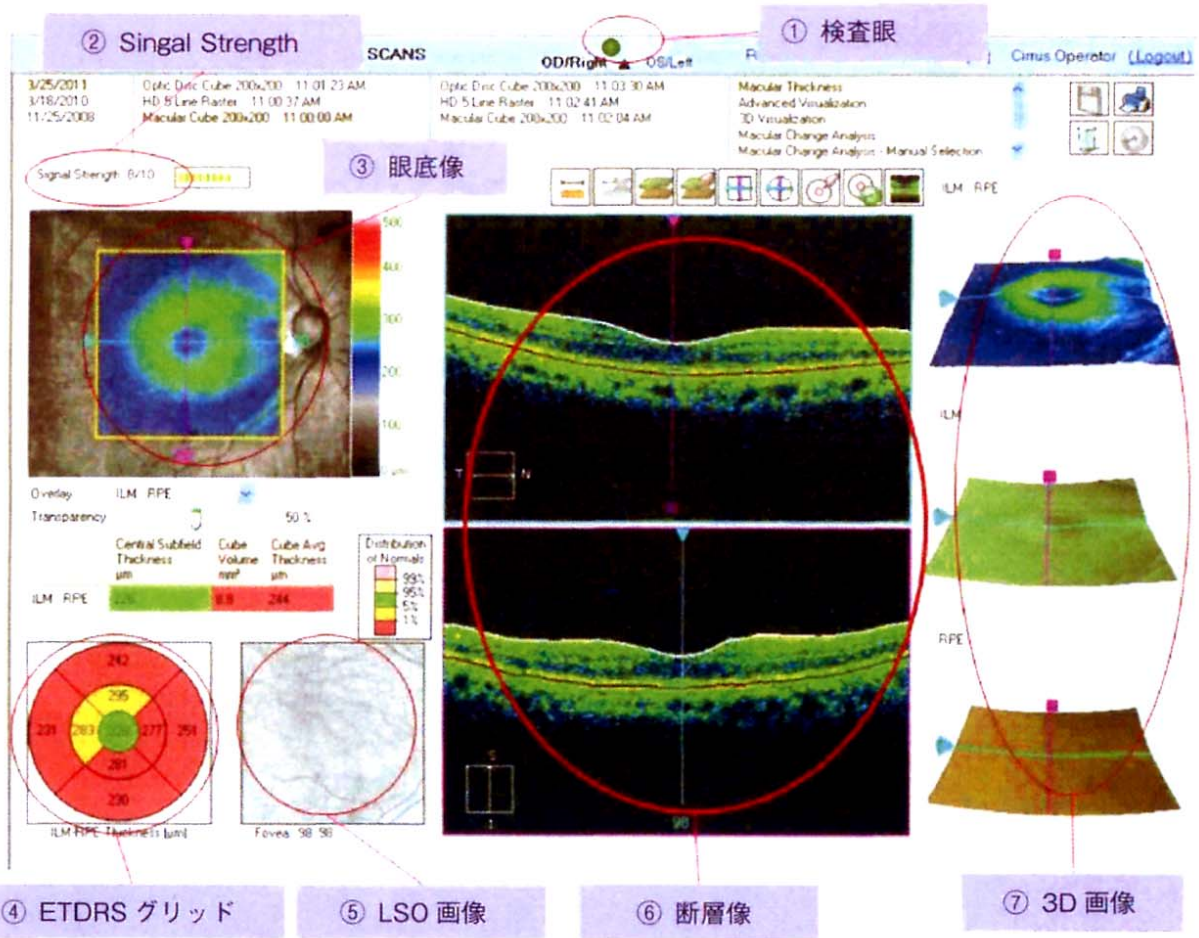


図 3 Macula Cube

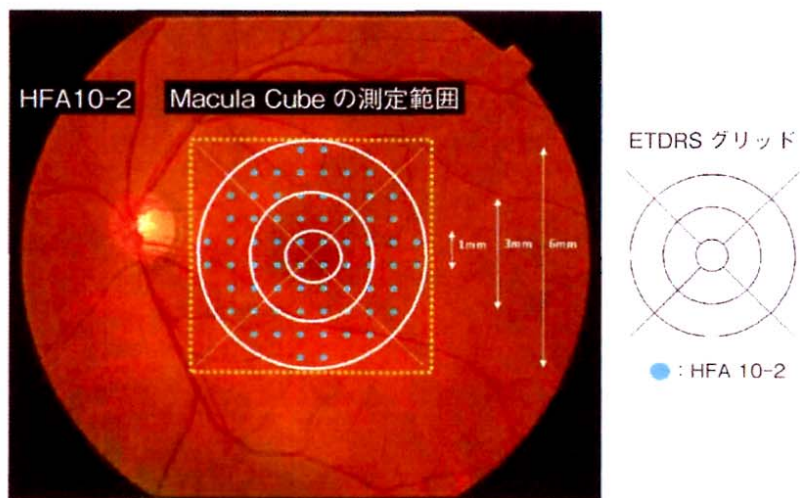


図 4 HFA 10-2 測定点と網膜厚測定点の対応

III Cirrusによる経過観察プログラム

1. GPA (Guided Progression Analysis)

複数回のOptic Disc Cube 200×200の結果より、視神経周囲の網膜厚の経過を表示するプログラム(図5)。

① 検査眼：Optic Disc Cubeは両眼表示であるが、GPAは片眼表示となる。

② Signal Strength：GPAのデータとして解析するためには6/10以上が必要。

③ Registration (Registered)：眼底血管走行からレジストレーションにより位置補正を行う。

④ Deviation Map：視神経乳頭周囲の網膜厚の変化を表示する。有意な菲薄化を認めた場合、1回目は黄色(possible loss)、2回目は赤色(likely loss)で警告される。

⑤ 網膜厚の経過(全体、上、下)：4回以上の測定結果では、回帰直線によるトレンド解析とポイントごとに表示されるイベント解析(3回目以降の結果がベースラインの変動を越えて変化した場合、1回目は黄色、2回目は赤色)が表示される。

⑥ Double Hump：各測定時のDouble Humpのライ

ンを表示する。有意な菲薄化を認めた場合、1回目は黄色(possible loss)、2回目は赤色(likely loss)で警告される。

⑦ RNFL Summary：RNFL厚カラーマップ、TSNIT(temporal-superior-nasal-inferior-temporal)グラフ、平均RNFL厚・上方RNFL厚・下方RNFL厚のいずれかが有意に進行がみられた場合、左側のチェックボックスに黄色、より進行が有意な場合赤のチェックが付く。

2. Macula Change Analysis

2回のMacula Cubeの差を表示することにより、黄斑部の網膜厚の変化を検出するプログラムである(図6)。

① 検査眼：片眼の表示である。

② 検査日：解析を希望する任意の2つの解析結果を選択する。

③ Signal Strength：Macula Change Analysisのデータとして解析するためには6/10以上が必要。

④ Registration：ベースラインの中心窩を自動検索し、OCT像の中心に赤丸で表示し、2回の眼底血管走行からレジストレーションを行い、レジストレーション

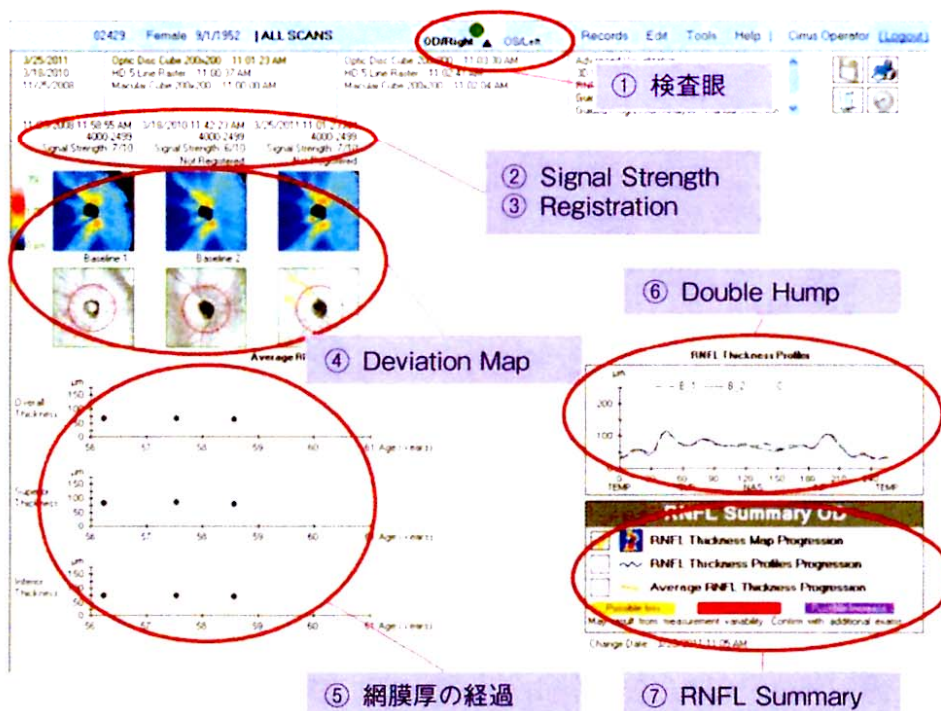


図5 GPA (Guided Progression Analysis) による表示

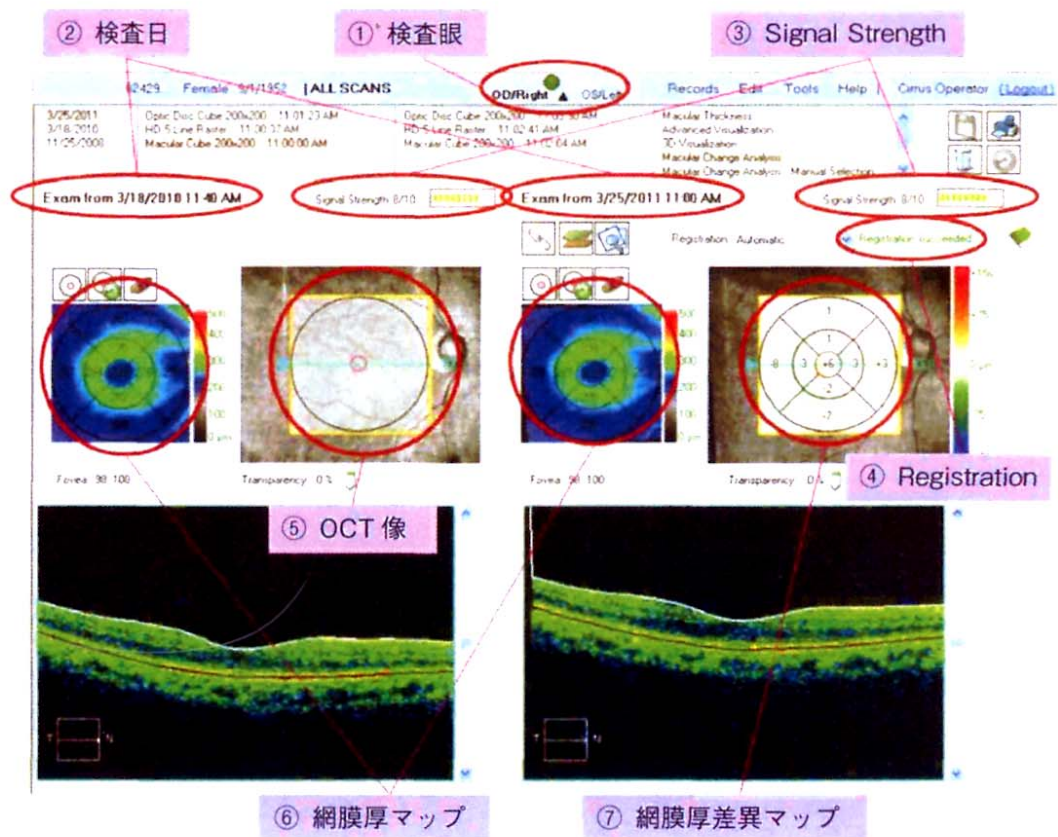


図 6 Macula Change Analysis による表示

が成功すると Registration Successful が表示される。

⑤ OCT 像：解析部位と中心窩を表示。

⑥ 網膜厚マップ：それぞれの ETDRS グリッドの網膜厚を表示。

⑦ 網膜厚差異マップ：2つの検査結果における同一部位の網膜厚の差異が±で表示。寒色系（薄）、暖色系（厚）でカラーマッピングされる。

IV 新しい解析表示

Optic Disc Cube は 2010 年 8 月より ver. 5.0 となり、画面が一新された。特に進化した部分は Deviation Map が乳頭境界および陥凹境界が自動的に判別してラインと色で表示されるようになったことと、HRT で表示されていた、視神経乳頭解析パラメータが表示されるようになったことである（図 7）。

① 視神経乳頭形状解析図では、3.46 mm の紫線の RNFL 厚測定サークル内と、Bruch 膜〔網膜色素上皮層（RPE）の基底膜〕の終結点により特定された黒線の視

神経乳頭の外縁と赤線の視神経乳頭陥凹境界線が表示され、年齢別正常データからの偏差値が Deviation Map として黄と赤（黄色が 5% 未満、赤色が 1% 未満を示す）で表示されている。また、網膜神経線維層厚マップでは濃グレーで視神経乳頭リム、薄グレーで乳頭陥凹が表示される。

② OCT B スキャン像では、Disc 中心を通過する 4.0 mm の放射状スキャンと 3.46 mm のサークルスキャンにより得られた画像上に、黒線で RPE、赤線で網膜表面を表示する。さらに、放射状スキャン像には黒丸の視神経乳頭外縁と赤丸の乳頭陥凹境界線が表示される。下方には、LSO Fundus と OCT Fundus の重ね合わせ像が表示され、青線で放射状スキャンの方向が確認できる。なお、放射状スキャンの方向は任意に変更可能である。

③ 直径 3.45 mm のサークルにおける 4 分割、12 分割の平均 RNFL 厚を表示。緑色は正常範囲、黄色は 5% 未満、赤色は 1% 未満を示す。

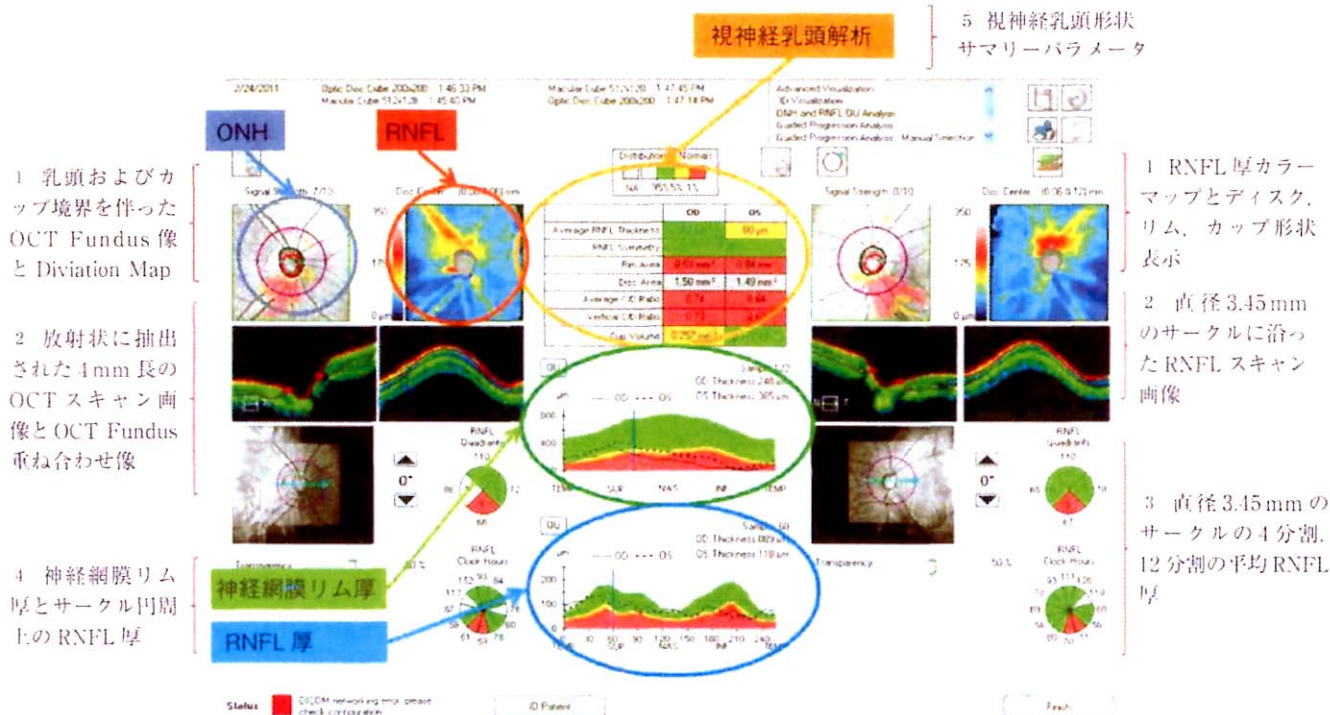


図 7 Optic Disc Cube (ver 5.0) による視神経解析
ONH: 視神経乳頭解析図, RNFL: 網膜神経線維層厚マップ。

④ 神経網膜リム厚と RNFL 厚が両眼同時にミクロン単位で表示される。サンプリング位置は青線で示されており、任意の位置に変更可能である。

⑤ 視神経乳頭形状サマリーパラメータは、Average RNFL Thickness, RNFL Symmetry (対称性), Rim Area (濃グレー面積: mm^2), Disc Area (mm^2) (濃+薄グレー面積: mm^2), Average C/D Ratio (薄/濃グレーの面積比), Vertical C/D Ratio (薄/濃グレーの垂直の直径比), Cup Volume (mm^3) (薄グレー体積: mm^3) が表示される。

おわりに

現在、緑内障診療に関係する OCT の機能に関しては、ハード面では緑内障性視神経障害や網膜障害における診断や経過観察を行うために問題ないレベルに達していると考えられるが、機械光学の進化を考えると測定装置の変更によりさらに詳細な画像が得られることが予想される。さらなる高画質化により、GCC ではなく網膜神経節細胞層や神経線維層自体の厚さや体積が測定できるように

なるかもしれない。しかし、基本的な測定原理が変更されると、蓄積されたデータが使えなくなる可能性があるため、緑内障のような疾患の長期経過観察においては問題が生じる可能性がある。緑内障診療における OCT のソフトは現在過渡期にあると考える。この点においても画像処理機能の急速な進化によりさらなる変化が期待される。ソフトの場合はハードと異なりバージョンアップで対応でき、一般的に過去のデータをそのまま使用可能であるため緑内障診療においては有用である。また、視神経や網膜の解析結果と視野検査との連携も緑内障診療にとっては興味深く、臨床においてきわめて有用であることが予想される。この点において、Cirrus は同様に Carl Zeiss 社から販売されている Humphrey 自動視野計との連携が期待される。

文 献

- 1) Savini G, Zanini M, Barboni P: Influence of pupil size and cataract on retinal nerve fiber layer thickness measurements by Stratus OCT. *J Glaucoma* 15: 336-340. 2006

2) Sung KR, Kim DY, Park SB et al : Comparison of retinal nerve fiber layer thickness measured by Cirrus HD and Stratus optical coherence tomography. *Ophthalmology* 116 : 1264-1270. 2009

3) Leung CK, Cheung CY, Weinreb RN et al : Retinal nerve fiber layer imaging with spectral-domain optical coherence tomography : a variability and diagnostic performance study. *Ophthalmology* 116 : 1257-1263. 2009

ニチコンの高性能な 酸素透過性ハードコンタクトレンズ。

Dear my vision
ニチコン



軽快な装用感 ニチコンEX-UV
承認番号21100BZZ00261000

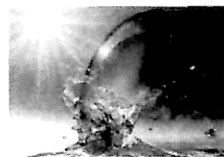
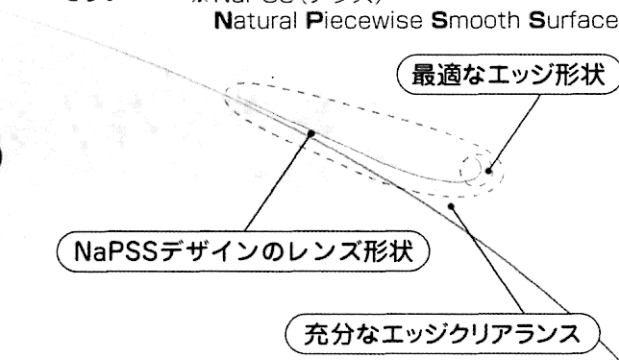
- ソフトレンズに迫る軽快な装用感を実現したNaPSSデザインを採用。
- Dk: 100×10^{-11} & 紫外線をカット。

ニチコンEX-UV
EX-UV

瞳にやさしくフィットするNaPSSデザイン

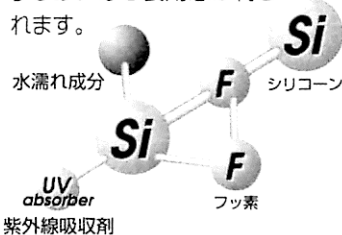
NaPSSデザインは、装用感の良さを目的にニチコンオリジナルデザインをベースとして、豊富な臨床経験と角膜形状に基づいた理論により生まれた新発想デザインです。

※NaPSS (ナプス)
Natural Piecewise Smooth Surface



うるおい実感 ニチコンうるるUV
承認番号21700BZZ00242000

- 素材にソフトコンタクトレンズに使用されている「水濡れ成分」を配合。うるおいある装用感が得られます。



- 快適な「うるる」デザインを採用。
- 高耐久性で余裕の酸素透過性Dk: 62×10^{-11} & 紫外線をカット。

ニチコン
うるるUV



日本コンタクトレンズ

〒454-0825 名古屋市中川区好本町3-10 TEL (052) 363-2750
<http://www.nipponcl.co.jp>

※コンタクトレンズは高度管理医療機器です。必ず眼科医の検査・処方を受けてお求めください。