

コンピュータ画像解析装置 IMAGEnet による 視神経乳頭解析

—Optic Nerve Head Analyzer (ONHA) との比較—(図4, 表2)

富田 剛司・松原 恵子 (岐阜大学医学部眼科学教室)
井戸 忠美・北澤 克明

要 約

2つのコンピュータ立体画像解析装置, IMAGEnet および Otic Nerve Head Analyzer (ONHA) を用いて17眼の視神経乳頭の陥凹パラメーターを定量解析し, 両装置の結果を比較検討した. 同じ画像を2回解析した際の intra-photographic な測定値の変動係数は, IMAGEnet では陥凹体積でその平均が最大(7.89%)であり, 辺縁面積/乳頭面積, において最少(1.36%)であった. ONHA では, 辺縁面積において最大(2.39%), 陥凹体積において最少(0.21%)であった. 解析結果は, C/D比, 陥凹体積において IMAGEnet の方が小さい傾向にあり($p > 0.1$), 辺縁面積, 辺縁面積/乳頭面積, では IMAGEnet の方が有意に大きかった($p = 0.01$). また, すべてのパラメーターに関して, 両装置の結果の間に有意な相関をみとめた($p < 0.01$). 以上より両装置の信頼性が示されたものの, 結果の正確性について今後検討していく必要があると思われる. (日眼会誌 93: 741—746, 1989)

キーワード: 画像解析, 視神経乳頭, コンピューター, 緑内障

Computerized Digital Image Analysis of Optic Nerve Heads with a Three-Dimensional Image Analyzer, IMAGEnet and a Comparison with the Optic Nerve Head Analyzer

Goji Tomita, Keiko Matsubara, Tadayoshi Ido and Yoshiaki Kitazawa

Department of Ophthalmology, Gifu University School of Medicine

Abstract

Computerized digital image analysis of the optic nerve heads of 17 eyes with various sizes of optic disc cupping was performed using two kinds of three dimensional image analyzers, the IMAGEnet and the Optic Nerve Head Analyzer (ONHA). Intraphotographic error variances of measurements with both instruments were evaluated by measuring each image of the optic discs twice. The mean coefficient of variation (CV) with the IMAGEnet for the vertical cup/disc ratio, the horizontal cup/disc ratio, the cup volume, the rim area, and the rim area/disc area ratio were 3.75%, 3.03%, 7.89%, 2.55% and 1.36%, respectively. With the ONHA, the mean CV for the total cup/disc ratio, the cup volume, the rim area, and the rim area/disc area ratio were 0.82%, 0.21%, 2.39%, and 1.56%, respectively. The value of the cup/disc ratio and the cup volume obtained by the IMAGEnet was smaller than those by the ONHA ($p > 0.1$). Conversely, the rim area and rim area/disc area ratio

別刷請求先: 500 岐阜市司町40 岐阜大学医学部眼科学教室 富田 剛司

(平成元年4月14日受付, 平成元年6月5日改訂受理)

Reprint requests to: Goji Tomita, M.D. Dept. of Ophthalmol., Gifu Univ. School of Med.

40 Tsukasa-cho, Gifu 500, Japan

(Received April 14, 1989 and accepted in revised form June 5, 1989)

measured by the IMAGEnet were statistically significantly larger than those by the ONHA ($p=0.01$). Statistically significant positive correlation was demonstrated for measurements made by both instruments in all disc parameters ($p<0.01$). These results seem to indicate the high reliability of the two instruments, however, further investigation is needed for the evaluation of the accuracy of measurements. (Acta Soc Ophthalmol Jpn 93: 741-746, 1989)

Key words: Image analysis, Optic nerve head, Computer, Glaucoma

I 緒 言

近年、視神経乳頭の変化をより客観的、数値的に評価するためにコンピューターを利用した画像解析装置の開発がなされてきている。今回我々は、これらの装置の中の1つであるトプコン IMAGEnet を使用し、同時立体眼底写真から乳頭の三次元的解析を試みた。また同一乳頭を西独ローデンストック Optic Nerve Head Analyzer(以下 ONHA)¹⁾にて解析し、測定結果の比較を行い若干の知見を得たので報告する。

II 装置の概要

IMAGEnet を用いて画像解析する際、眼底カメラを通して画像を直接入力する方法と、すでに撮影した乳頭のスライド写真から入力する方法の2通りがあるが、今回はスライド写真をビデオカメラを介して入力する方法を用いた。装置はコンピューター本体、ビデオカメラ、画像モニター、CRT ディスプレイ、プリンター、キーボード、PC マウスなどから構成されている(図1)。作業は対話形式で行われ、検者はディスプレイに表示される画像のファイルや実行したいプログラムのリストなどをみながら、コンピューターの問いに答えるようにキーボード、マウスを用いて解析を進めていく。IMAGEnet は大別して2つのプログラムを有しており、1つは視神経乳頭の解析に関するものであるが、他に蛍光眼底造影像を中心とした眼底像の解析に関するものがある。これらはさらに画像入力に関するプログラムと、その画像を解析するプログラムに分けられる。視神経乳頭については、乳頭陥凹の三次元的解析、pallor 面積の解析、乳頭血管の変移の解析^{2)~4)}などに分けられている。

乳頭陥凹の三次元解析を行うには、まず画像入力のプログラムを用いて乳頭の同時立体写真(カラーライド)をカラービデオカメラからデコーダー(変換器)を通してデジタル化する。すなわち、アナログの画像情報は青、赤、緑の各信号別にデジタル信号とし



図1 IMAGEnet の外観。

てコンピューター内に取り込まれる。画像の情報は33メガバイトの容量を持つハードディスクか、片面200、両面で400メガバイトの容量を持つ光ディスクに保存可能であり、画像の保存が終了すれば解析は後日行うことも可能である。ここまで要する時間は、1つの画像につき数分である(図2)。

次に解析プログラムを用いてデジタル化された画像を呼び出し、立体写真像を再構成する。立体写真は、左右一対の像を別々に入力するため呼び出した2つの画像間の alignment が必要となる。すなわち一対の画像のうち左側の乳頭像を基準として、まず上側の乳頭縁をマークしそれと同一位置と思われる点を右側乳頭像の乳頭縁にもマークする。同様の操作を左側乳頭縁、下側乳頭縁、右側乳頭縁と順に計4回行う。この4点入力が終了するとこれらの点を通る楕円が計算される。そしてこの楕円上の10度間隔の36点に対し、再構成された画像が立体像として再び一対となるように画像間の上下ずれ、回旋性のずれが補正される。このようにして乳頭縁の決定と像の alignment が同時に完了する。以上に引き続き、乳頭を立体撮影することにより生じた2つの乳頭像のずれの距離から三次元的な深さが計算される。像のずれの検出には自動相関法が用いられている⁵⁾⁶⁾。これは、一対の像のうち左側の乳頭像を基準として、画像の最少単位である画素(ピク

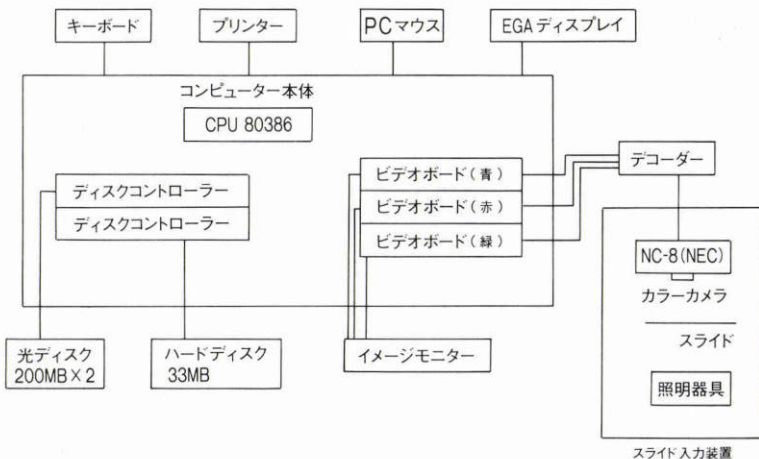


図2 IMAGEnetのブロックダイアグラム

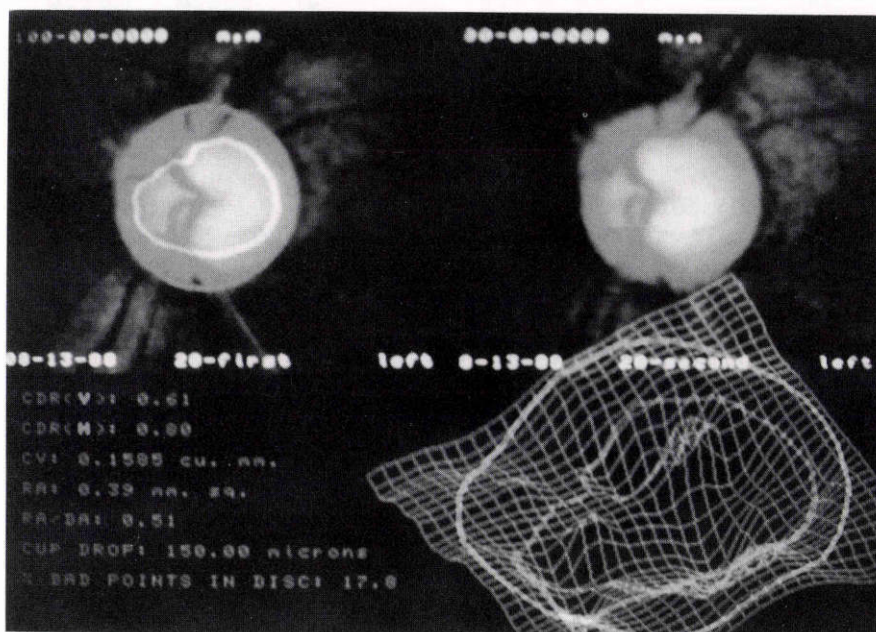


図3 モニターに示された解析結果と陥凹形状の wire grid 表示

セル)の数にして4ピクセルごとの格子状の各点についてそれが他側の乳頭像のどこに相当するかを、各点近傍の色調変化の最もよく相関しあう場所を深すことにより決定していくものである。対応点が見つければ、その点の深度が計算されxyz座標上でその位置が定められる。このような計算が乳頭上の数百点に対して行われ、この結果をもとにまず乳頭陥凹縁の決定がなされる。陥凹の辺縁は乳頭縁より一定値深い部分と定義されており、その一定値を代入すると自動的に陥凹

の境界が決定される。今回の解析ではONHAと同様に150 μ mとした。陥凹縁がきまれば次にC/D比、陥凹体積、辺縁面積、辺縁面積/乳頭面積、などの陥凹のパラメーターが計算され、陥凹の形状の wire grid 表示と伴にモニター上に表示される(図3)。一対の立体画像を解析するのに要する時間は約6分である。さらに、数多くの画像を解析する場合、装置から離れていても自動的に計算結果を出す Night Jobs プログラムを有している。

III 対象と方法

各種緑内障, 高眼圧症, 健常眼の中から種々の程度の乳頭陥凹がみられたものを無作為に抽出した14例17眼を対象とした。内訳は, 原発開放隅角緑内障6例7眼, 高眼圧症1例1眼, 低眼圧緑内障5例6眼, 発達緑内障1例2眼, 正常1例1眼であった。これら対象眼を散瞳後, 同時立体眼底カメラ(トプコン TRC-SS)にて3mmのステレオベースを用い視神経乳頭の立体撮影を行った。撮影に際し, 眼球の位置とカメラの光軸とはできるだけ一線となるようにし, 乳頭を写真の中央に捉えるよう努力した。また, 解析には良好な画質のもののみを使用した。立体写真撮影直後にONHAにも同一眼の乳頭を専用の立体ビデオ眼底カメラにて同時立体ビデオ画像として記録した。患者には装置に付属する固視灯を凝視させ, 良好なビデオ画像が得られたもののみを解析した。乳頭立体写真はIMAGEnetを用いて前述の方法にて筆者らの1人(GT)が解析し, またONHAにおいては立体ビデオ画像を他の1人(KM)が解析し, それぞれの装置における乳頭陥凹のC/D比(C/D-ratio), 陥凹体積(cup volume), 辺縁面積(rim area), 辺縁面積/乳頭面積(rim area/disc area: RA/DA)などの乳頭陥凹パラメーターの算出を行った。今回両装置による解析結果を比較するに際し, 結果は, 両装置ともGullstrandの標準眼に準拠した値として示されたものを用い, 屈折度, 角膜曲率半径, 眼軸長などによる補正は行わなかった。解析は同一画像につき日を替えて2度行い, いわゆるintra-photographicな変動を変動係数(標準偏差/平均値×100%, coefficient of variation: C.V.)を求めることにより検討した。ONHAについては, 2回解析を行えたものが14眼であったため, 14眼につき検討した。またC/D比について, IMAGEnetでは垂直C/D比, 水平C/D比に分けて変動係数を求めたが, ONHAにおいては, C/D比は全体値と4象限別に表示されるため, 全体C/D比についてのみ変動係数を算出した。さらに, 両装置による測定結果の相関についても検討した。2回解析したものはその平均値をとり, またIMAGEnetのC/D比に関しては, 垂直, 水平の平均値をとりONHAの全体C/D比との相関を検討した。測定結果を比較する際の統計的解析法として, 平均値の比較には両側t検定を用い, 測定値の相関についてはSpearman相関係数を求めた。有意水準は $p < 0.05$ とした。

表 1a IMAGEnet intraphotographic error

	1st analysis mean ± S.D.	2nd analysis mean ± S.D.	C.V. mean ± S.D.
C/D ratio vertical	0.49 ± 0.17	0.51 ± 0.15	3.75 ± 4.06
horizontal	0.50 ± 0.15	0.49 ± 0.16	3.03 ± 3.49
Cup volume (mm ³)	0.47 ± 0.40	0.48 ± 0.44	7.89 ± 10.8
Rim area (mm ²)	1.83 ± 0.43	1.83 ± 0.45	2.55 ± 2.02
RA/DA	0.72 ± 0.14	0.72 ± 0.14	1.36 ± 1.32

C.V.: coefficient of variation (n=17)

表 1b ONHA intraphotographic error

	1st analysis mean ± S.D.	2nd analysis mean ± S.D.	C.V. mean ± S.D.
C/D ratio total	0.58 ± 0.21	0.58 ± 0.21	0.82 ± 0.82
Cup volume (mm ³)	0.70 ± 0.44	0.70 ± 0.44	0.21 ± 0.15
Rim area (mm ²)	0.99 ± 0.47	1.00 ± 0.48	2.39 ± 2.34
RA/DA	0.42 ± 0.22	0.42 ± 0.21	1.56 ± 1.59

C.V.: coefficient of variation (n=14)

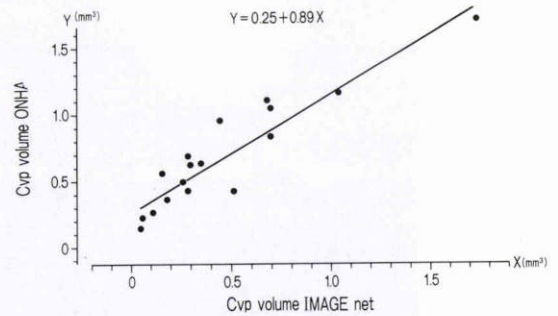


図 4 IMAGEnet と ONHA のそれぞれの陥凹体積に対する散布図と回帰直線

IV 結 果

IMAGEnetによる17眼の2回の解析結果, および各々の乳頭を2回解析した際に得られた変動係数のそれぞれの平均値と標準偏差を表1aにしめす。変動係数の平均は陥凹体積において最大(7.89+/-10.8%)であり, 辺縁面積において最少(1.36+/-1.32%)であった。一方, ONHAにて14眼を2回解析した結果とその変動係数を表1bにしめす。変動係数の平均は辺縁面積において最大(2.39+/-2.34%)であり, 陥凹体積において最少(0.21+/-0.15%)であった。測定結果は1回目, 2回目解析値共に, 辺縁面積, および,

表2 IMAGEnet, ONHA の解析値の相関

	correlation coefficient	p
C/D ratio	0.84	< 0.001
Cup volume	0.92	< 0.001
Rim area	0.68	< 0.01
Rim area/disc area	0.82	< 0.001

(n=17)

辺縁面積/乳頭面積, は IMAGEnet の方が ONHA に比べて統計的に有意に大きい値であった($t=2,76, p=0.01$). IMAGEnet における垂直, 水平 C/D 比の平均と ONHA の全体 C/D 比, および陥凹体積の間には両装置の測定結果に有意な差はみとめなかったが, 平均値では IMAGEnet の結果の方が小さい傾向にあった($p>0.1$).

IMAGEnet と ONHA の陥凹体積の間には統計的に有意な正の相関がみとめられた ($r_s=0.92, p<0.001$) (図4). その他の陥凹パラメーターについても有意な相関がみとめられた (表2).

V 考 按

近年, 医療分野におけるコンピューター画像解析技術の導入はめざましく, 眼科関係においてもその傾向は同様である. 緑内障診断の一助として数年前開発された ONHA による乳頭画像解析は, 乳頭陥凹の変化を三次元的要素を含めて客観的に観察できるという点で注目を集めてきた. 今回新しく開発された IMAGEnet も ONHA とほぼ同様のコンセプトに基づいて乳頭の三次元的解析を行うとされているが, 異なる画像解析装置の間で, その解析結果にどのような違いがあるかについては, IMAGEnet の前身である PAR SYSTEM も含め, 今だ世界的に報告はない. 今回, 2つの立体画像解析装置を用いて同一乳頭を解析した際の, 両装置の intra-photographic (2回解析) な解析結果の再現性, 解析結果の各々の傾向, 解析結果の相関の状態などを検討した. IMAGEnet による intra-photographic な変動は, 陥凹体積において変動係数が平均7.89%と最大であったが, 他のパラメーターの変動係数は, その平均がすべて4%以内と良好であった. しかしながら ONHA においては, すべてのパラメーターにおける変動係数の平均が2.5%以内であり, IMAGEnet よりさらに良好であった. これは, ONHA においては解析時にはすでに画像の align-

ment は終了しており, 検者による乳頭縁の決定作業だけが結果の変動に影響するのと異なり, IMAGEnet では像の解析時に乳頭縁の決定と alignment を同時に行うため, 結果に変動をきたす要因が多いことに起因するものと思われる. また ONHA は alignment すべき像を画像モニターに速いスピードで交互に写し出すため, 像のずれの状態が比較的瞬時に判断でき作業しやすいのに対し, IMAGEnet は, 血管などを目標にしながら検者がある程度目分量で同一点を深さねばならず, alignment にやや正確さを欠く可能性が皆無ではないことも理由にあげられよう. ただし, ONHA は回旋性のずれに対して修正が不可能であるが, IMAGEnet は回旋ずれにも対応できる点は有利である. また今回, IMAGEnet に関しては眼底写真からの入力による画像の解析を行ったが, 同時立体眼底カメラから直接, 画像の入力がなされた場合, 撮影時間のずれはなく, 計測時の測定ポイントは通常約1,000点で行われていることなどを考えると, alignment の誤差のより少ない解析結果が期待される.

両装置の解析結果そのものを比較した場合, IMAGEnet では ONHA に比べ C/D 比, 陥凹体積は小さく, 辺縁面積等は大きく出る傾向にあり, 特に辺縁面積, 辺縁面積/乳頭面積, は統計的に有意に大きい値であった. 今回, 両装置とも乳頭縁より150 μ 深い部位を陥凹の縁とし, 各パラメーターの計算が実行されており, 基本的には同じコンセプトに基づいている. 今回の結果はそれぞれの装置の測定の特性を反映するものと考えられるが, どちらの測定装置より得られた値が乳頭の各パラメーターの真の値により近いかは今後検討されるべき重要な課題であろう. しかしながら, これら計測値の違いが装置の持つ特性によるとすれば, 両装置の解析結果の間に非常に良好な相関がみられたことは, 異なる装置の測定結果を相互に比較し得ることを意味する臨床上重要な知見と考えられる.

以上, 今回の臨床実験により, 異なる2つのコンピューター画像解析装置の間で良好な結果の再現性と相関が証明され, 装置の信頼性が示されたとともに, 今後は測定結果の正確性に関する検討が一層必要となることが考えられた.

文 献

- 1) 富田剛司, 後藤靖彦, 山田 俊他: 立体ビデオ画像解析装置による視神経乳頭の定量的解析とその信頼性について. 日眼会誌 90: 1317-1321, 1986.
- 2) 難波克彦, 白柏基宏, 福地健郎他: コンピューター

- 画像解析(IMAGEnet)による視神経乳頭陥凹の立体計測. 臨眼 43: 535-538, 1989.
- 3) **Varma R, Spaeth GL, Hanau C, et al**: Position changes in the vasculature of the optic disc in the glaucoma. *Am J Ophthalmol* 104: 457-464, 1987.
 - 4) **Varma R, Spaeth GL**: PAR IS 2000: A new system for retinal digital image analysis. *Ophthalmic Surgery* 19: 183-192, 1988.
 - 5) **Raye Norvelle F**: Interactive Digital Correlation Techniques for Automatic Compotation of Elevation Data ETL-0272. Fort Belvoir, Virginia, US Army Corps of Engineers, Engineer Topographic Laboratories, October 1981.
 - 6) 鷲尾宏司, 安田嘉純, 江森康文: Optic Disc Cupのステレオ画像からの計算機による立体モデルの再構成. *眼光学*, 8: 137-142, 1987.
-