

## 眼底画像における細動脈狭窄評価のための 主幹動静脈の自動検出および分類法

岩瀬 達彦<sup>†</sup> 村松 千左子<sup>†</sup> 畑中 裕司<sup>‡</sup>  
周 向榮<sup>†</sup> 原 武史<sup>†</sup> 藤田 広志<sup>†</sup>

<sup>†</sup> 岐阜大学大学院 〒501-1194 岐阜県岐阜市柳戸 1-1  
<sup>‡</sup> 滋賀県立大学工学部 〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500

E-mail: {iwase, chisa, zxr, hara, fujita}@fjt.info.gifu-u.ac.jp.jp, hatanaka.y@usp.ac.jp

あらまし 眼底画像を解析することによって、高血圧性網膜症の所見である細動脈狭窄を定量的に評価し、眼科医の診断を支援するコンピュータ支援診断システムを開発することが本研究の目的である。本研究では、Black top hat 変換と2重リングフィルタを組み合わせることで血管抽出し、血管領域内のR、G、B成分を用いて線形判別関数を求めることによって主幹動静脈の分類を行なった。その結果、主幹動静脈の分類精度は88.2%であった。さらに、分類した血管から、細動脈狭窄の診断に必要な並走する動静脈に絞り、動静脈の血管径を計測することによってA/V比を算出した。その結果、平均誤差と標準偏差は $0.06 \pm 0.05$ であった。

キーワード 眼底画像, コンピュータ支援診断, 細動脈狭窄, 動静脈分類, A/V比

## Automated detection and classification of major arteries and veins for arteriolar narrowing analysis on retinal fundus images

Tatsuhiko IWASE<sup>†</sup> Chisako MURAMATSU<sup>†</sup> Yuji HATANAKA<sup>‡</sup>  
Xiangrong ZHOU<sup>†</sup> Takeshi HARA<sup>†</sup> and Hiroshi FUJITA<sup>†</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Medicine, Gifu University 1-1 Yanagido, Gifu-shi, Gifu 501-1194, Japan

<sup>‡</sup> The University of Shiga Prefecture 2500 Hatsusaka-cho, Hikone-shi, Shiga, 522-8533 Japan

E-mail: {iwase, chisa, zxr, hara, fujita}@fjt.info.gifu-u.ac.jp.jp, hatanaka.y@usp.ac.jp

**Abstract** The purpose of this study is to develop a computer-aided diagnosis (CAD) system for early detection of arteriolar narrowing on retinal images. In this study, blood vessels were detected using the black top hat transformation and a double ring filter, and major arteries and veins were classified by linear discriminant analysis using RGB components of blood vessel regions. As a result, the classification accuracy of major arteries and veins was 88.2%. In addition, major arteries and veins that run parallel to each other were selected for evaluation of arteriolar narrowing, and A/V (artery and vein) ratios were calculated based on their diameters. The average error  $\pm$  standard deviation of the proposed method was  $0.06 \pm 0.05$ .

**Keyword** Retinal Image, Computer-Aided Diagnosis, Arteriolar Narrowing, Classification of Artery and Vein, A/V Ratio

### 1. はじめに

生活習慣病などの早期発見のために人間ドックを受診する人数が増加している。人間ドックの検査の一つに眼底検査があるが、受診者数の増加に伴い眼底検査の件数が増加すれば、診断する医師の負担が大きくなることが予想される。そのため、コンピュータを用いて画像解析を行い、その結果を医師に提示すること

によって診断を支援するコンピュータ支援診断 (computer-aided diagnosis: CAD) システムの開発が求められている。眼底とは体外から血管が観察できる唯一の部位であり、眼底画像を用いた診断は、高血圧症や糖尿病などの生活習慣病を早期に発見する手段として用いられている[1]。

高血圧症において眼科医は、高血圧性変化と硬化性

変化に大別してその各々を 4 段階に程度分けした Scheie 分類に基づいて I~IV 度に分類して診断を行っている [1]. 高血圧性変化の程度分類で、重要な所見となるのは細動脈狭窄である。細動脈狭窄は動脈の血管径が狭くなる現象であり、動脈と静脈の血管径の比 (Artery/Vein 比 : A/V 比) を測定し診断をする。しかし、眼科医は血管径などを目視によって判断することが多く、A/V 比の評価は再現性および客観性に乏しい可能性がある。そこで、診断の定量化や再現性の向上、眼科医の負担軽減を目的としたコンピュータ支援診断 (computer-aided diagnosis : CAD) システムの開発が行われている。

これまでに眼底画像における多くの CAD 技術が開発されており、血管検出に関する研究においては、様々な手法の提案がされている。RGB カラー眼底画像の G(緑)成分画像から濃淡情報の隆線を検出する手法 [2], ガボールウェーブレットを用いた手法 [3, 4], Hough 変換を用いた手法 [5], Contourlet 変換を用いた手法 [6] などがある。また、眼底画像の血管解析として動静脈を認識しそれらを分類する手法などについても報告されている [11-13]。高血圧症においては、A/V 比を計測し細動脈狭窄の評価を行なう手法などが報告されている [14]。また、我々も血管検出に関する研究を行ってきた [7-10]。他にも、眼底血管の口径解析として口径不動の判定 [15-17] や動脈狭窄の検出に関する研究 [18] を行ってきた。そこで、本研究では細動脈狭窄を評価するために眼底画像より動静脈を自動検出し、動静脈に分類、血管径を解析する手法について検討した。

## 2. データベース

本研究では、研究のために無料で公開されている DRIVE (Digital Retinal Images for Vessel Extraction) [2, 19], のデータベースを用いて評価を行った。DRIVE に含まれる眼底画像は、オランダの糖尿病網膜症スク

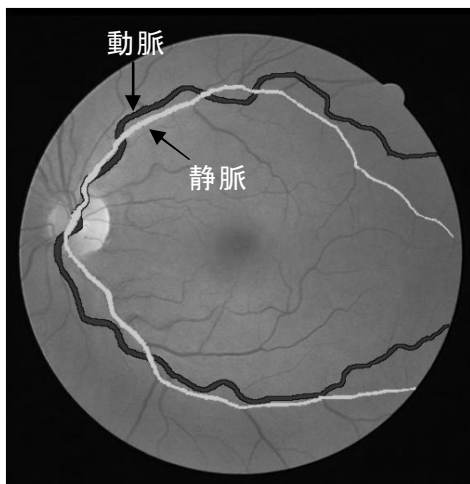


図 1 眼底画像

リーニングプログラムから得られたものである。眼底画像は、40 枚用意されており、学習用画像と評価用画像のそれぞれ 20 枚に分類されている。今回は評価用画像 20 枚を評価の対象とした。画像の大きさは 565×584 画素であり、24bit のカラー画像である。全ての画像において血管構造を描画した画像が用意されており、正解画像として使用できる。また、いくつかのグループが提案した血管抽出精度がホームページ上にまとめられている。

## 3. 手法

医師は眼底画像上の血管に対して、並走する動脈と静脈の A/V 比によって細動脈狭窄の診断を行う。この際用いる動静脈は、図 1 に示すような最も太い動脈と静脈の組合せから求める。この並走する動静脈を主幹動脈、主幹静脈と定義する。A/V 比を計測するまでの流れを図 2 に示す。まず、眼底画像から血管領域を抽出した。次に、血管領域を分割し、動静脈の分類を行った。そして、診断に用いる血管を対象とするため並走する主幹動静脈の選択を行ない、血管径を計測し、A/V 比を算出した。各処理について以下で説明する。

### 3.1. 血管抽出

眼底画像において、血管の色は RGB 表色系における G 成分の画像において、血管と周囲組織とのコントラストが高くなるので、G 成分画像に対して血管抽出を行う。緑内障の CAD システムで用いられている血管抽出手法である Black top hat 変換を用いた手法 [10] と高血圧生網膜症や糖尿病網膜症の CAD で用いられている 2 重リングフィルタを用いた手法 [8] を組み合わせた新たな血管抽出手法を提案した。この血管抽出処理の流れを図 3 に示す。まず、前処理において原画像を G 成分でグレースケール化し、その画像に対して Black top hat 変換した多値画像と 2 重リングフィルタをかけた多値画像を用いて平均画像を作成し、これらに対して 2 値化を行うことによって血管を抽出した。この血管抽出結果を用いて以下の処理を行なう。



図 2 全体の処理の流れ

### 3.2. 動静脈の分類

A/V 比を計測するために動静脈の分類を行なう必要がある。分類には線形判別分析を用いた。線形判別分析に用いる特徴量は血管領域内の RGB 成分を使用した。ただし、血管領域内においても血管壁に近い画素では濃度のばらつきが大きいので、抽出した血管領域を細線化し、細線化した画素上の RGB 値を特徴量として使用した。それらの特徴量から(1)式の線形判別式の係数  $W_i, C$  を決定し、動静脈の分類を行った。本実験では、 $W_i, C$  の値は  $W_1=-0.25, W_2=1.91, W_3=-0.31, C=0.56$  となった。また、血管を分岐・交差部分で分割し、セグメントごとに分け分類を行なった。さらに、診断の際、神経乳頭縁から 1 乳頭径の血管領域で細動脈狭窄を判定を行うため、分類する範囲を図 4 のように定め、その範囲内で分類を行なった[14].

$$Z = W_1R + W_2G + W_3B + C \quad (1)$$

### 3.3. 診断に用いる血管の選択

医師は動脈狭窄の判定を行うとき特に主幹動静脈に注目して診断を行なう。ところが、本研究においては A/V 比を計測する際に主幹動静脈以外の細い血管を誤検出してしまうため、主幹動静脈を選択してから細動脈狭窄の検出を行った。最初に、動脈と静脈に分類した結果に対して走行方向の解析を行い、並走している動脈と静脈の候補を選択した。この段階では、選択した動脈と静脈は 1 本ずつであるとは限らない。そこで、選択した動静脈の血管径を計測し、動脈・静脈の中で最も太い血管を選択することで主幹動静脈を選択した。

### 3.4. A/V 比の計測

上記手法で主幹動静脈として選択した血管の中心線を求め、その中心線上から血管径を測定した。ここで、血管径の定義は、注目画素を通り、かつ血管壁と交

わる二点間の距離が最小となる線分の長さとした。そして、その血管径を注目画素に置き換えることで血管径の値を記した画像を作成した[20]。さらに、選択した主幹動静脈の中で並走する血管を決定し、動脈血管の血管径と静脈血管の血管径の平均から A/V 比を計測した。

## 4. 結果と考察

上記手法を DRIVE の評価画像 20 枚に適用し実験を行なった。判別分析などの学習には、DRIVE の学習用画像 20 枚を用いた。次に血管抽出結果、分類結果、A/V 比の計測結果の精度についてそれぞれ評価し考察した。

### 4.1. 血管抽出結果

本研究で用いた Black top hat 変換を用いた血管抽出手法、2 重リングフィルタを用いた血管の抽出手法とこれらを組み合わせた手法を一致率と過抽出率を用いて評価した。一致率と過抽出率は次式のように定義した。

$$\text{一致率} = \frac{\text{一致Pixel数}}{\text{Gold standard 血管Pixel数}} \quad (2)$$

$$\text{過抽出率} = \frac{\text{過抽出Pixel数}}{\text{Gold standard 血管Pixel数}} \quad (3)$$

結果を表 1 に示す。この結果より、二つを組み合わせた手法では過抽出率においては 2 重リングフィルタには及ばないものの、少ない過抽出率で Black top hat 変換と同等の一致率を得ることができた。

表 1 血管抽出の手法比較

	一致率	過抽出率
Black top-hat 変換	0.806	0.539
2 重リングフィルタ	0.683	0.210
Black top-hat 変換 + 2 重リングフィルタ	0.793	0.410

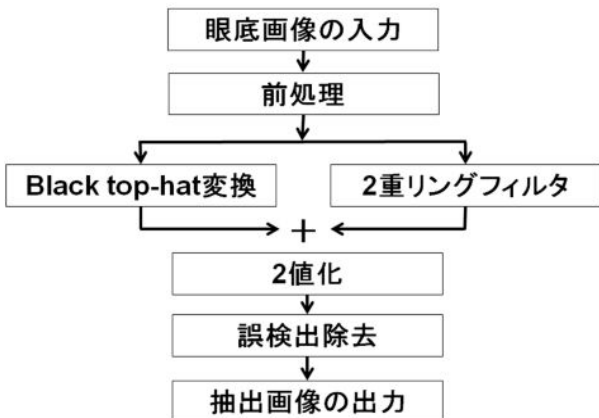


図 3 血管抽出の流れ

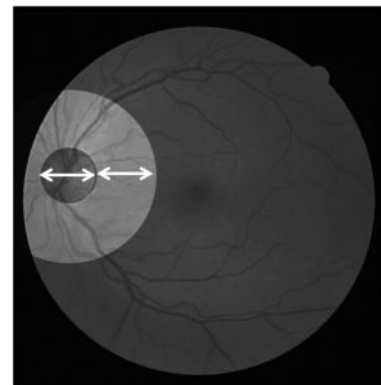


図 4 分類を行なう範囲

## 4.2. 分類結果

上記手法で動静脈を分類した結果を分類率で評価した。分類率は次式のように定義した。

$$\text{分類率} = \frac{\text{正しく分類できた血管のPixel数}}{\text{血管の総Pixel数}} \quad (4)$$

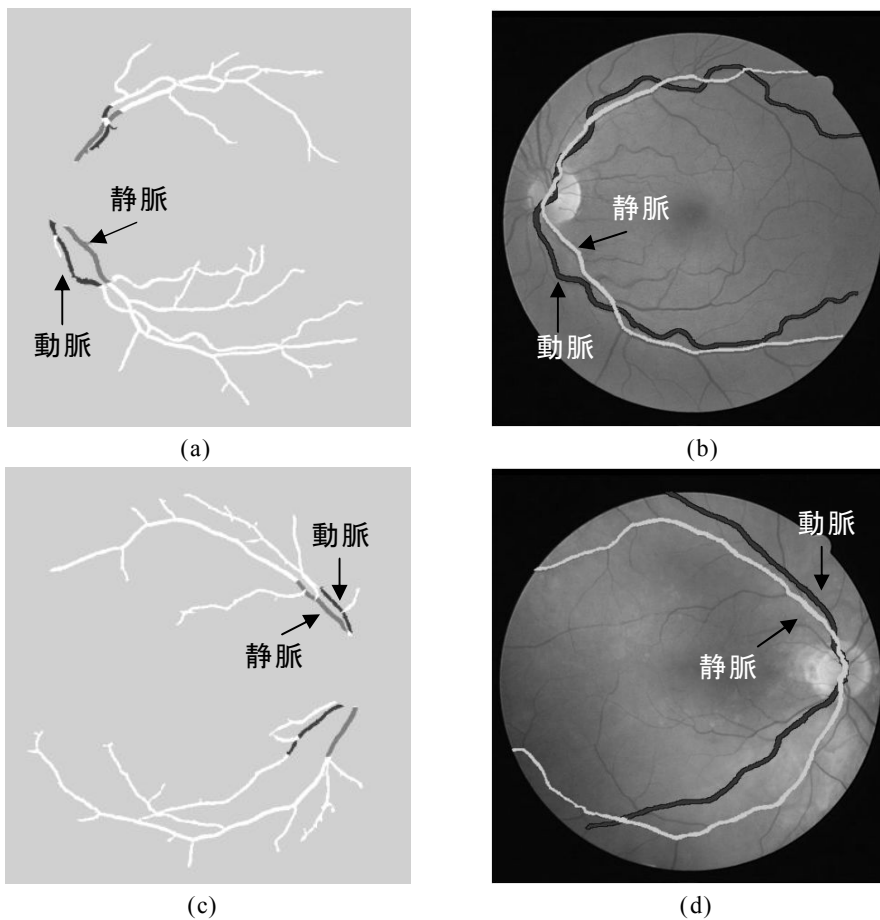
評価の際用いた正解画像は、DRIVE のデータベースにある血管抽出の正解画像から手動で動脈静脈を分類し、その結果を眼科医に確認していただき作成した。

DRIVE の学習用画像 20 枚を用いて学習し、評価用画像 20 枚に対して評価実験を行なった結果、分類率は 88.2% となった。

## 4.3. A/V 比の計測結果

分類した結果より、上記手法により診断に用いる血管の選択を行なった結果を図 5(a)(c)に示す。また、選択した主幹動静脈の正当性を示すために図 5(b)(d)に主幹動静脈の正解画像を示す。この結果より、正しく主幹動静脈が選択できていることが分かる。そして、この結果より A/V 比の計測を行なった。診断に用いられる主幹動静脈は、乳頭から耳側方向に上下に並走す

る対の動静脈からなるので 1 画像あたり 2 対存在する。DRIVE の評価画像 20 枚に含まれる主幹動静脈は 40 対存在し、上記で述べた主幹動静脈の認識手法を適用した結果、75% (30 対/40 対) の主幹動静脈の認識に成功した。認識に失敗した 10 対の内、原画像でコントラストの低い動脈の抽出に失敗したものが 6 対、対となる血管の選択に失敗したものが 2 対、隣接または重なって並走しているため 2 本の血管を 1 本として認識してしまったものが 2 対であった。そこで、認識に成功した主幹動静脈を用いて動静脈の口径を計測し、A/V 比を算出した。計測した A/V 比の正当性を評価するために、DRIVE の原画像から手動で血管毎に口径を 5 点計測し、その平均値をその血管の求めるべき血管径であると仮定して正解となる A/V 比を求めておき、その正解 A/V 比と本手法の結果を比較することで評価した。この結果、手動で計測した A/V 比との誤差の範囲は  $-0.26 \sim +0.10$  であり、平均誤差と標準偏差は  $0.06 \pm 0.05$  となった。誤差はわずかであることから、大凡の A/V 比を測定できていることが分かる。また、多くの画像において本手法で計測した A/V 比が、手動で計測した



(a)抽出結果：DRIVE test 画像 No.1 (b)正解画像：DRIVE test 画像 No.1  
(c)抽出結果：DRIVE test 画像 No.7 (d)正解画像：DRIVE test 画像 No.7

図 5 主幹動静脈の抽出結果

A/V 比に比べて値が小さくなっていた。これは、血管抽出において動脈のコントラストが低く血管が途中で途切れて抽出され、実際の血管径よりも抽出結果が細くなったためであると考えられる。

## 5. まとめ

本研究では、細動脈狭窄の診断を支援するための CAD システムとして主幹動静脈を自動検出し、そして、動脈と静脈血管に自動分類し、さらに口径計測を行なうことで A/V 比を自動計測するシステムを開発した。その結果、Black top hat 変換と 2 重リングフィルタによる血管抽出手法を組み合わせることで血管抽出の精度向上につながった。そして、動静脈を 88.2% の精度で自動分類できた。最後に A/V 比を計測した結果、手動で計測した値に対して平均誤差が 0.06 と近い値を得ることができた。一方、本研究では 25% の主幹動静脈の抽出に失敗しているため、今後は血管抽出精度や動静脈の分類精度の向上を図る必要がある。

## 謝辞

本研究の一部は、文部科学省知的クラスター創成事業「ロボティック先端医療クラスター」(2004~2008 年度)の支援によって行われました。

## 文 献

- [1] 渡邊郁緒, 上野眞, 鑑別診断のための眼底アトラス, 文光堂, 東京, 1995.
- [2] J.J. Staal, M.D. Abramoff, M. Niemeijer, M.A. Viergever, B. van Ginneken, "Ridge-based vessel segmentation in color images of the retina," *IEEE Trans. on Med. Imaging*, vol.23, no.4, pp.501-509, 2004.
- [3] F. Oloumi, R.M. Rangayyan, P. Eshghzadeh-Zanjani, F.J. Ayres, "Detection of blood vessels in fundus images of the retina using Gabor wavelets," *Proc. of IEEE Engineering in Medicine and Biology*, vol.29, no.1, pp.6451-6454, 2007.
- [4] J.V.B. Soares, J.J.G. Leandro, R.M. Cesar Jr., H.F. Jelinek, M.J. Cree, "Retinal vessel segmentation using the 2-D Gabor wavelet and supervised classification," *IEEE Trans. on Med. Imaging*, vol.25, no.9, pp.1214-1222, 2006.
- [5] F. Zana, J. C. Klein, "A multimodal registration algorithm of eye fundus images using vessels detection and hough transform," *IEEE Trans. on Med. Imaging*, vol.18, no.5, pp.419-428, 1999.
- [6] Rezatofghi SH, Roodaki A, Ahmadi Noubari H, "An enhanced segmentation of blood vessels in retinal images using contourlet," *Proc. of IEEE Engineering in Medicine and Biology*, vol.30, pp.3530-3533, 2008.
- [7] 林 俊文, 中川俊明, 畑中裕司, 林佳典, 青山陽, 水草豊, 藤田明宏, 加古川正勝, 原武史, 藤田広志, 山本哲也, "眼底画像における動脈狭窄検出のための主幹血管の認識法," *信学技法* vol.107, no.461, pp.377-382, 2008.
- [8] 高橋 亮, 畑中裕司, 中川俊明, 林佳典, 青山陽, 水草豊, 藤田明宏, 加古川正勝, 原武史, 藤田広志, "眼底画像における高血圧症診断支援のための血管交叉部の自動解析," *Medical Imaging Technology*, vol.24, no.4, pp.270-276, 2006.
- [9] Y. Hatanaka, T. Nakagawa, Y. Hayashi, A. Fujita, M. Kakogawa, K. Kawase, T. Hara, H. Fujita, "CAD scheme to detect hemorrhages and exudates in ocular fundus images," *Proc. of SPIE Medical Imaging 2007*, vol.6514, pp.65142M, 2007.
- [10] 中川俊明, 林佳典, 畑中裕司, 青山陽, 水草豊, 藤田明宏, 加古川正勝, 原武史, 藤田広志, 山本哲也, "眼底画像診断支援システムのための血管消去画像を用いた視神経乳頭の自動認識及び疑似立体視画像生成への応用," *信学論 D*, vol.J89-D, no.11, pp.2491-2501, Nov. 2006.
- [11] 八木秀俊, 田邊勝義, 壺内鉄郎, "血管の同心円分割を用いた眼底写真における動脈・静脈分離の検討," *電子情報通信学会総合大会予稿集*, vol.D-7-32, pp.160, 1997.
- [12] 秋田興一郎, 久家秀樹, "眼底画像における血管パターンの認識方法," *信学論*, vol.J64-D, no.8, pp.729-736, Aug. 1981.
- [13] 荒井啓之, 佐久間聡, 高橋裕子, 大塚作一, "眼底画像中の動脈・静脈識別方法の提案," *電子情報通信学会総合大会予稿集*, vol.D-16-9, pp.374, 2000.
- [14] L.D. Hubbard, R.J. Brothers, W.N. King, L.X. Clegg, R. Klein, L.S. Cooper, A. Richey Sharrett, M.D. Davis, J. Cai, "Methods for Evaluation of Retinal Microvascular Abnormalities Associated with Hypertension/Sclerosis in the Atherosclerosis Risk in Communities Study," *Ophthalmology*, vol.106, no.12, pp.2269-2280, 1999.
- [15] J. Hayashi, T. Kunieda, J. Cole, R. Sogo, Y. Hayashi, M. Lu, T. Hara, H. Fujita, "A development of computer-aided diagnosis system using fundus images," *Proc. of the 7th International Conference on Virtual Systems and MultiMedia(VSMM2001)*, pp.429-438, 2001.
- [16] 陸苗, 畑中裕司, 月山佳大, 曾我竜介, 原武史, 国枝孝光, 藤田広志, 内田英哉, 青山勝, 山本哲也, "Automatic distribution and shape analysis of blood vessels on retinal images," *信学技報*, vol.102, no.126, pp.83-86, 2003.
- [17] 畑中裕司, 原武史, 周向榮, 青山陽, 内田英哉, 藤田広志, 山本哲也, "眼底写真における血管の追跡処理による動脈の口径不同の自動検出," *生体医工学*, vol.42, no.4, pp.236-240, 2004.
- [18] Y. Hatanaka, X. Zhou, T. Hara, H. Fujita, Y. Hayashi, A. Aoyama, T. Yamamoto, "Automated detection algorithm for abnormal vessel on retinal fundus images," *Proc. of the 10th International Conference on Virtual Systems and MultiMedia (VSMM2004)*, pp.303-306, 2004.
- [19] DRIVE: Digital Retinal Images for Vessel ホームページ, URL:<http://www.isi.uu.nl/Research/Databases/DRIVE/>, (最終アクセス 2009.12.24).
- [20] 中川俊明, 林佳典, 畑中裕司, 青山陽, 水草豊, 藤田明宏, 加古川正勝, 原武史, 藤田広志, 山本哲也, "1枚の2次元眼底画像を用いた3次元眼底画像の構築," *医用画像情報学会雑誌*, vol.23, no.2, pp.85-90, 2006.