

外傷性視神経損傷におけるカラードプラー法による眼血流の測定

中丸 周一¹⁾, 関 保¹⁾, 浅野 徹¹⁾, 稲富 誠¹⁾, 小出 良平¹⁾, 川内 章裕²⁾

¹⁾昭和大学医学部眼科学教室, ²⁾昭和大学医学部超音波センター

要 約

外傷性視神経損傷と診断され経篩骨洞視神経管開放術を施行した症例に対して, 超音波カラードプラー断層法で網膜中心動脈と眼動脈の血流速度の測定を行い, 術前と術後の変化を検討した. 対象は13例(男性8例, 女性5例)で, 年齢は9~69歳(平均36.3歳)である. カラードプラー法で収縮期最高血流速度(Vmax), 拡張終期血流速度(Vmin), 平均血流速度(Vmean), 抵抗指数(RI)を検出した結果, 術後に眼動脈の患眼のVmax値とRI値が増加しているのが確認された. カラードッ

プラー法では視神経管より末梢部の眼動脈の血流を測定していることから, 視神経管開放術によって, 眼動脈の血流量が改善していることが示唆された. (日眼会誌 99: 843-848, 1995)

キーワード: 外傷性視神経損傷, 視神経管開放術, 超音波カラードプラー断層法, 眼動脈血流, 視神経

A Study of the Intraorbital Blood Flow Using Ultrasound Color Doppler Mapping Images in Optic Canal Fracture Cases

Shuichi Nakamaru¹⁾, Tamotsu Seki¹⁾, Toru Asano¹⁾,
Makoto Inatomi¹⁾, Ryohei Koide¹⁾ and Akihiro Kawauchi²⁾

¹⁾Department of Ophthalmology, Showa University School of Medicine

²⁾Ultrasonic Clinical Examination Center, Showa University School of Medicine

Abstract

Ultrasound color Doppler flow mapping image (CFMI) equipment, SSA-270A (Toshiba Co) was used to measure the blood flow velocity of the ophthalmic artery (OA) and the central retinal artery (CA) in eyes with optic canal fracture. The maximal blood flow velocity (Vmax), the minimal blood flow velocity (Vmin), the mean blood flow velocity (Vmean), and the resistance index (RI) before and after trans-ethmoidal decompression of the optic nerve were compared. The examination was conducted on 13 patients. There was no difference in blood flow velocity in the CA after the operation. Pre-operative Vmax and RI of the OA in the damaged eyes were lower than in normal eyes, but they increased the day after the operation. We measured the

intraorbital blood flow velocity by CFMI because ultrasound does not penetrate bone. Since the peripheral artery from the optic foramen did not change after the operation, we concluded that the peripheral blood flow of OA had been quantitatively improved by the trans-ethmoidal decompression of the optic nerve. (J Jpn Ophthalmol Soc 99: 843-848, 1995)

Key words: Optic canal fracture, Trans-ethmoidal decompression of optic nerve, Ultrasound color Doppler flow mapping image, Blood flow of ophthalmic artery, Optic nerve

I 緒 言

超音波カラードプラー断層法(以下, カラードプラー法)は1982年滑川ら¹⁾により開発され, 1983年尾本

ら²⁾により初めて臨床応用された. 新たな検査法であるにもかかわらず, その血流の観察は現在種々の分野において活用応用されている³⁾. 今回, 著者らは同装置を用いて, 外傷性視神経損傷と診断され経篩骨洞視神経管開放

別刷請求先: 142 東京都品川区旗の台1-5-8 昭和大学医学部眼科学教室 中丸 周一
(平成6年12月28日受付, 平成7年2月14日改訂受理)

Reprint requests to: Shuichi Nakamaru, M.D. Department of Ophthalmology, Showa University School of Medicine, 1-5-8 Hatanodai, Shinagawa-ku, Tokyo 142, Japan

(Received December 28, 1994 and accepted in revised form February 14, 1995)

術を施行した症例に対して、術前および術後において網膜中心動脈および眼動脈の血流速度を測定し、その有用性について検討した。

II 対象および方法

1992年11月から1993年6月までの8か月間に、昭和大学医学部附属病院眼科において経篩骨洞視神経管開放術を施行し、術後1か月間以上経過観察のできた13例を対象とした。性別は男性8例、女性5例、年齢9~69歳(36.3±22.5歳、平均値±標準偏差)であった。これらの症例に対し、視力、視野、フリッカー値、さらに、カラードプラー法で網膜中心動脈および眼動脈の患眼と健眼の血流速度を術前から術後4週間目までの間に、それぞれ計8回(術前、術後1病日目、術後3病日目、術後5病日目、術後1週間目、術後2週間目、術後3週間目、術後4週間目)測定した。視野は藤沢ら⁴⁾の分類に従い、欠損型、島状型、中心暗点型、中心残存型、測定不能の5型に分類した。フリッカー値は5回測定し、最大値と最小値を除いた3回の平均値を使用した。カラードプラー法では、パルスドプラー法により得られた周波数変化とカラー表示された血流の方向性を認識することによって、角度補正を行い血流速度を算出し、収縮期最高血流速度(以下、Vmax)、拡張終期血流速度(以下、Vmin)、平均血流速度(以下、Vmean)を各々求め、さらに、末梢血管抵抗を反映すると考えられている⁵⁾抵抗指数(resistance index: 以下、RI) = (Vmax - Vmin) / Vmax を算出した^{6)~10)}。

使用した超音波診断装置は東芝社製SSA-270Aで、これに5.0MHz心臓用セクタ型プローブを装着し用いた。測定方法は安静座位閉眼で患者の患側と健側のそれぞれに対して上眼瞼にプローブを軽く接触させ、網膜中心動脈と眼動脈の血流速度を測定した。カラードプラー検査の記録はフジインスタントフィルム(FI-800GT)およびビデオテープレコーダーで行い、前回の測定

部位を確認しながら毎回同じ拍動部位を測定した。

III 結果

症例および術前と術後4週目の患眼の視力、フリッカー値、視野の予後を表1に示す。症例番号は当科を初診した順番である。期間とは、受傷日から手術日までの日数である。術前および術後に副腎皮質ステロイド薬の点滴を施行した症例は+、施行しなかった症例は-と表示した。他院で副腎皮質ステロイド薬の点滴を施行された後に当科を紹介された症例も含めて、当科を初診した後は副腎皮質ステロイド薬の点滴による経過観察はせずに、できるだけ早く手術を施行した。

視力、視野は術後全症例とも改善し、フリッカー値は症例3と症例8以外は改善が認められた。全体の傾向として、視力は術後1週目にはほぼ最高視力に達し、視野とフリッカー値は術前から術後4週間目まで徐々に改善していく傾向が認められた。なお、健眼の視力、視野、フ

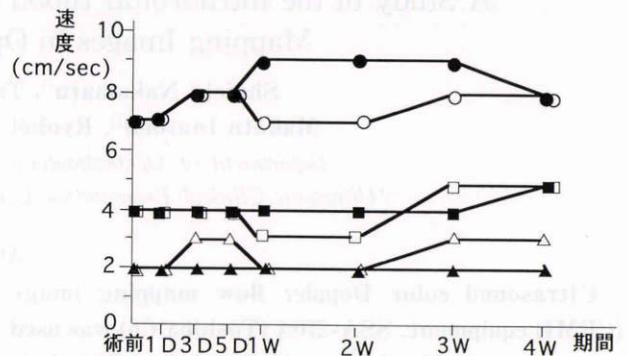


図1 網膜中心動脈の血流変化(症例5)。

黒丸：患眼収縮期最高血流速度(Vmax)値、白丸：健眼収縮期最高血流速度(Vmax)値、黒四角：患眼平均血流速度(Vmean)値、白四角：健眼平均血流速度(Vmean)値、黒三角：患眼拡張終期血流速度(Vmin)値、白三角：健眼拡張終期血流速度(Vmin)値を示す。図の横軸は期間(D:日、W:週)、縦軸は血流速度(cm/sec)を示す。

表1 症例および視力、フリッカー値、視野の予後

症例	年齢	期間	点滴	視力(術前後)	CFF(術前後)	視野(術前後)
1 MT	男 16	9	+	0.2 → 1.0	16.3 → 24.3	欠損型 → 視野拡大
2 YH	女 46	4	+	指数弁 → 0.07	5.7 → 7.7	中心暗点型 → 視野拡大
3 MA	男 69	15	+	0.02 → 0.06	6.7 → 測定不能	中心暗点型 → 視野拡大
4 SK	男 58	16	+	0.3 → 0.9	24.3 → 26.7	中心暗点型 → 視野拡大
5 MT	女 12	2	+	0.03 → 0.8	測定不能 → 39.0	欠損型 → 視野拡大
6 KA	女 36	3	+	指数弁 → 0.9	測定不能 → 13.3	欠損型 → 視野拡大
7 SM	男 68	2	+	指数弁 → 0.06	4.0 → 7.0	測定不能 → 視野出現
8 SK	女 42	36	-	0.02 → 0.08	24.0 → 17.3	欠損型 → 視野拡大
9 YI	男 22	147	+	0.08 → 0.1	5.0 → 13.0	欠損型 → 視野拡大
10 JM	男 12	5	-	0.1 → 0.7	16.6 → 34.0	中心暗点型 → 暗点消失
11 RM	男 21	2	-	0.01 → 0.3	19.0 → 23.7	中心暗点型 → 暗点減少
12 YY	女 9	2	+	指数弁 → 0.9	15.7 → 41.0	欠損型 → 視野拡大
13 YO	男 61	4	+	0.01 → 0.07	測定不能 → 17.0	島状型 → 視野拡大

CFF: フリッカー値を示す。

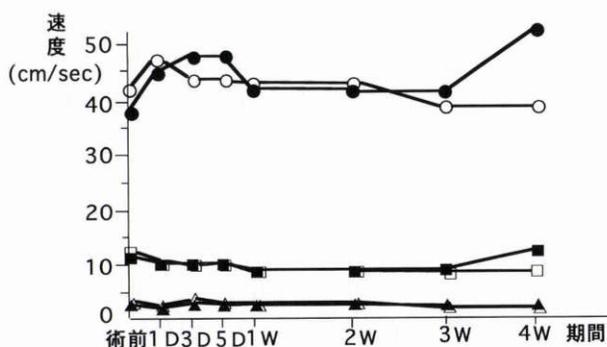


図2 眼動脈の血流変化(症例5).

黒丸：患眼 Vmax 値, 白丸：健眼 Vmax 値, 黒四角：患眼 Vmean 値, 白四角：健眼 Vmean 値, 黒三角：Vmin 値, 白三角：Vmin 値を示す. 図の横軸は期間 (D: 日, W: 週), 縦軸は血流速度 (cm/sec) を示す.

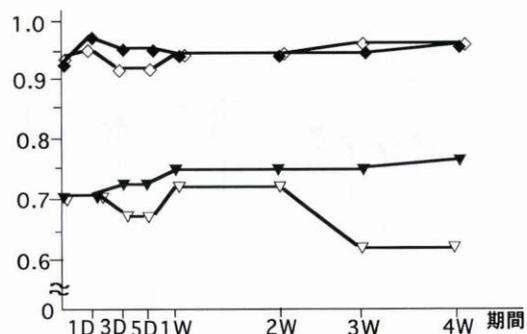


図3 網膜中心動脈および眼動脈の抵抗指数 (RI) の変化(症例5).

黒逆三角：網膜中心動脈の患眼 RI 値, 白逆三角：網膜中心動脈の健眼 RI 値, 黒菱形：眼動脈の患眼 RI 値, 白菱形：眼動脈の健眼 RI 値を示す. 図の横軸は期間 (D: 日, W: 週) を示す.

表2 網膜中心動脈および眼動脈の患眼と健眼の平均値 (n=13)

		(平均値±標準偏差)								
		術前	1D	3D	5D	1W	2W	3W	4W	
網膜中心動脈	患眼	Vmax	7.5±1.9	8.0±2.1	8.0±2.1	8.2±2.0	7.9±1.8	7.8±1.6	8.0±1.5	7.3±1.3
		Vmean	4.6±0.9	4.7±1.1	4.3±1.2	4.6±0.9	4.8±1.0	4.5±0.8	4.3±0.6	4.0±0.9
		Vmin	3.0±0.6	2.9±0.7	2.5±0.8	2.5±0.5	2.9±0.8	2.7±0.5	2.8±0.6	2.8±0.4
		RI	0.66±0.15	0.64±0.15	0.69±0.10	0.68±0.10	0.64±0.12	0.66±0.09	0.65±0.12	0.64±0.13
健眼		Vmax	8.3±1.7	8.1±1.7	8.3±1.2	8.1±1.7	7.5±1.5	8.0±1.4	7.9±1.8	7.9±1.9
		Vmean	4.7±1.2	4.6±1.0	4.2±0.4	4.5±0.8	4.2±0.7	4.4±1.0	4.5±1.0	4.7±1.0
		Vmin	3.1±0.6	2.5±0.5	2.7±0.5	2.9±0.5	2.7±0.5	2.7±0.6	2.6±0.4	3.1±0.5
		RI	0.64±0.10	0.69±0.10	0.68±0.08	0.64±0.10	0.62±0.15	0.66±0.10	0.64±0.10	0.60±0.12
眼動脈	患眼	Vmax	33.1±13.0	37.8±10.5	36.8±11.8	37.1±12.3	38.2±13.2	40.2±14.0	39.6±9.4	37.2±9.6
		Vmean	13.3±5.3	14.4±5.1	14.2±5.5	13.2±4.6	13.9±5.0	13.2±3.9	13.3±3.1	13.5±3.6
		Vmin	5.4±3.2	5.8±3.6	5.8±3.0	4.6±1.7	5.2±2.7	4.6±2.2	4.7±1.8	5.0±2.2
		RI	0.83±0.08	0.84±0.08	0.84±0.07	0.87±0.05	0.85±0.08	0.86±0.09	0.88±0.06	0.86±0.08
健眼		Vmax	36.1±12.3	32.9±8.9	36.4±6.5	35.2±10.1	35.6±11.9	36.5±13.4	36.1±7.7	37.6±11.9
		Vmean	12.8±4.7	12.1±4.3	12.2±3.5	12.6±4.1	11.8±4.0	12.1±4.1	12.4±3.5	12.1±3.5
		Vmin	4.6±2.6	4.5±2.4	4.6±1.9	5.1±1.6	4.5±2.1	4.0±2.4	4.3±2.4	4.2±1.5
		RI	0.87±0.06	0.86±0.07	0.87±0.05	0.85±0.05	0.87±0.06	0.88±0.77	0.88±0.07	0.88±0.06

Vmax 値, Vmean 値, Vmin 値の単位は cm/sec である. D: 日 (術後), W: 週 (術後) を示す.

リッカー値は術前から全症例とも正常であった. 今回測定した13例では, 欠損型6例, 島状型1例, 中心暗点型5例, 中心残存型0例, 測定不能1例であったが, 症例ごとの違いによる測定の難しさを考慮すると, 視力, 視野, フリッカー値の中で改善度の指標として最適なのは視力であると思われた.

代表例として, 症例5におけるカラードプラー法で測定した網膜中心動脈および眼動脈の患眼と健眼の Vmax 値, Vmean 値, Vmin 値の変化をそれぞれ図1, 2に示す. 同様に網膜中心動脈および眼動脈の患眼と健眼の RI 値の変化を図3に示す. 網膜中心動脈の患眼と

健眼の Vmax 値, Vmean 値, Vmin 値, RI 値の変化には特別な傾向は認められなかった. また, 眼動脈の患眼の Vmean 値, Vmin 値と, 健眼の Vmax 値, Vmean 値, Vmin 値, RI 値の変化にも特別な傾向は認められなかった. しかし, 眼動脈の患眼の Vmax 値と RI 値には術後に増加傾向が認められた. このことを参考にしながら, 網膜中心動脈および眼動脈の13例の患眼と健眼のそれぞれの Vmax 値, Vmean 値, Vmin 値, RI 値の平均値を検討してみた.

カラードプラー法で測定した網膜中心動脈および眼動脈の13例の患眼と健眼の平均値を表2に示す. 網膜中

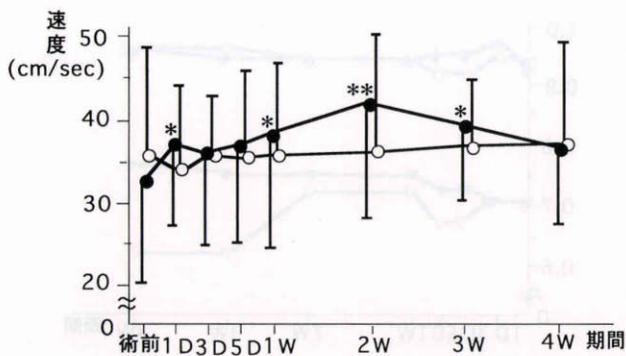


図4 眼動脈の抵抗指数 (RI) の平均値 (n=13). 黒丸: 患眼 RI 値, 白丸: 健眼 RI 値を示す. *: p < 0.05 を示す (術前値との比較). 図の横軸は期間 (D: 日, W: 週), 縦軸は血流速度 (cm/sec) を示す.

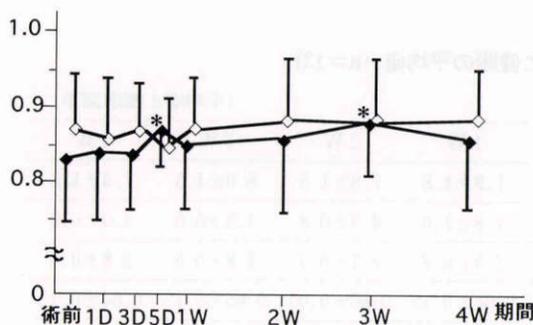


図5 眼動脈の血流の平均値 (n=13). 黒菱形: 患眼 Vmax 値, 白菱形: 健眼 Vmax 値を示す. *: p < 0.05, **: p < 0.01 を示す (術前値との比較). 図の横軸は期間 (D: 日, W: 週) を示す.

心動脈の患眼と健眼のそれぞれの測定項目には特別な傾向は認められず, 患眼と健眼のそれぞれの測定項目の術後の各値を paired t-test で術前値と比較しても, いずれも有意差は認められなかった. また, 眼動脈では患眼の Vmean 値, Vmin 値と, 健眼の Vmax 値, Vmean 値, Vmin 値, RI 値には特別な傾向は認められなかったが, 患眼の Vmax 値と RI 値は術後に増加傾向が認められた. 眼動脈の患眼と健眼の Vmean 値, Vmin 値の術後の各値を paired t-test で術前値と比較しても, 有意差は認められなかった. 術前から術後において変化が認められた患眼の眼動脈の Vmax 値と RI 値の2項目について健眼と比較しながら, 以下さらに詳しく検討する.

眼動脈の患眼と健眼の Vmax 値の平均値のグラフを図4に示す. 術前値で患眼は健眼より低下している. また, 術後は患眼の値は増加しており, 患眼の術後の各値を paired t-test で術前値と比較したところ, 術後1病日に有意差 (p < 0.01) が認められた. また, 増加率も術後1病日目が最大であった. 同様に健眼の術後の各値を paired t-test で術前値と比較したが, 有意差は認められなかった. 次に, 眼動脈の患眼と健眼の RI 値の平均値のグラフを図5に示す. 術前値で患眼は健眼より低下して

いる. また, 術後は患眼の値は増加しており, 患眼の術後の各値を paired t-test で術前値と比較したところ, 術後5病日目に有意差 (p < 0.05) が認められた. 同様に健眼の術後の各値を paired t-test で術前値と比較したが, 有意差は認められなかった.

さらに, 受傷から手術までの期間が1週間未満の症例 (8例) と1週間以上の症例 (5例) の2群に分けた場合, 副腎皮質ステロイド薬の点滴を施行した症例 (10例) と施行しない症例 (3例) の2群に分けた場合, 視力の改善が2~3段階までの症例 (6例) と4段階以上の症例 (7例) の2群に分けた場合, 男性 (8例) と女性 (5例) の2群に分けた場合, 年齢が30歳未満の症例 (6例) と30歳以上の症例 (7例) の2群に分けた場合でそれぞれ上記と同様に paired t-test で比較したが, 網膜中心動脈および眼動脈とも今回の検査結果ではいずれも有意差は認められなかった.

IV 考 按

今回の測定で, 網膜中心動脈および眼動脈の健眼の Vmax 値, Vmean 値, Vmin 値, RI 値は, 正常人の平均値^{6)~10)}と比較してほぼ同値であった. つまり, 患眼側のみ血流の変化が起きていることがわかる. また, 正常人でも, Vmax 値, Vmean 値, Vmin 値, RI 値に個人差があることを考慮すると, 患者の患眼の Vmax 値, Vmean 値, Vmin 値, RI 値に対するコントロール値は, その患者の健眼の Vmax 値, Vmean 値, Vmin 値, RI 値が最適であると思われた.

RI の式を変形すると $RI = (Vmax - Vmin) / Vmax = 1 - Vmin / Vmax$ となるが, この式から Vmin 値が減少するかあるいは Vmax 値が増加すると, RI 値は最大値1に近づくことが理解できる. 超音波は骨を通過しにくいいため, カラー Doppler 法では視神経管の部分より末梢側, つまり眼窩内の眼動脈の血流速度を測定している. 今回の測定では術前に Vmax 値と RI 値の減少が認められ, 視神経管開放術を施行した後に Vmax 値と RI 値の増加が確認された. しかし, Vmin 値には特別な傾向は認められなかった. このことから, 手術後は Vmax 値が増加したことによって RI 値が増加したことがわかる.

通常, 血管径に変化がない場合は, Vmax 値, Vmin 値の積分値とも考えられる Vmean 値が増加すれば血流量も増加したと考えられる. 今回の場合も受傷前, 受傷後~手術前, 手術後で, 視神経管の部分より末梢側 (眼窩内) の眼動脈自体に対して, 受傷による直接の影響は考えづらく, 末梢側 (眼窩内) の血管径には変化はないと考えられる. また, Vmax 値の増加に有意差が認められ, Vmin 値の変化に有意差が認められず, かつ Vmax 値は Vmin 値より6~9倍値が大きいことから Vmean 値は事実上増加していると考えられ, 術後に末梢側 (眼窩内) の眼動脈の血流量は増加していると思われた. さらに,

術後に RI 値が増加することも血流量が増加していることを示唆すると思われた。なお、今回の検査で眼動脈の Vmean 値と Vmin 値に有意差が現れるような変化が認められなかった理由の一つとして、Vmean 値と Vmin 値は値が小さすぎるため、現行の心・大血管系の検査を目的に開発された SSA-270 A 機の分解能では、10 cm/sec 以下の血流の定量的測定には精度的に不十分であるためと思われた。また、同じ理由が網膜中心動脈の Vmax 値、Vmean 値、Vmin 値、RI 値についても考えられた。

視神経と眼動脈は視神経管の中を通過していることから、外傷性視神経損傷における視神経および眼動脈の状態を考えてみる。今回の検査で視神経管より末梢側（眼窩内）では血流が低下していることが認められた。観血的手術によって視神経管部の減圧を試みることで、末梢側（眼窩内）の眼動脈の血流量が増加するという事は、受傷後には視神経管の部位に狭窄が存在しているため、その部位に眼動脈の血流の循環障害が生じ、末梢側（眼窩内）の血流量は減少していたが、観血的手術によって、視神経管の部位の狭窄が消失し、血流障害が除去されたため、術後に末梢側（眼窩内）の血流量が増加したと考えられ、視神経と眼動脈が視神経管の中を通過していることを考えると、同時に視神経も狭窄していることが考えられた。

外傷性視神経損傷では視神経管部に骨折が認められる場合と認められない場合¹¹⁾¹²⁾があり、受傷後に視力障害、視野狭窄などを引き起こすその原因として、I：①視神経の振盪による視神経線維の断裂、II：視神経管の骨折による②視神経の挫滅や③視神経の圧迫、III：④視神経管の損傷による出血、浮腫など¹³⁾が考えられる。今回の検討結果から、カラードップラー法による術前検査で、健眼の眼動脈の Vmax 値と RI 値は正常人とほぼ同値であり、患眼の眼動脈の Vmax 値と RI 値はそれより減少していることが得られ、また、外傷性視神経損傷の際に、視神経管の部位で、視神経と眼動脈が同時に狭窄していることが考えられた。両者の関係は、視神経管内の圧が高ければ高いほど視神経と眼動脈の狭窄の程度は強く、それに比例して Vmax 値と RI 値は減少していると考えられる。視神経管開放術は視神経管内の減圧を目的としたものであり、視神経自体の不可逆性損傷に対しては、副腎皮質ステロイド薬療法でも観血的手術療法でも治療は不可能であるという前提のもとに、上記の①～④のそれぞれの原因に対して、患眼の眼動脈の Vmax 値と RI 値が、減少している場合としていない場合の2つに分けて対応させ、以下予後についても検討した。

カラードップラー法による術前検査で、患側の眼動脈の Vmax 値と RI 値が減少していない時は①、②の場合で、術後の予後は不良と考えられる。逆に、術前検査で患眼の眼動脈の Vmax 値と RI 値が減少している時

は③、④の場合で、術後の予後は良好と考えられる。当然、両者が混在している場合は十分に考えられ、両者の比の割合が予後を決定するものと思われる。さらには、IV：視神経の軸索流の障害も考えられ、①、②による軸索流の障害の場合は術後の予後は不良で、③、④による軸索流の障害の場合は術後の予後は良好と考えられる。また、カラードップラー法による術前検査で、患眼の眼動脈の Vmax 値と RI 値が減少していない時は①、②が主要原因と考えられるため、副腎皮質ステロイド薬療法あるいは観血的手術療法を施行しても予後不良と考えられる。逆に、術前検査で患眼の眼動脈の Vmax 値と RI 値が減少している時で、観血的手術療法を施行する前に副腎皮質ステロイド薬の点滴で様子をみた場合に、副腎皮質ステロイド薬の点滴をしても Vmax 値と RI 値が増加しない時は③が主要原因と考えられ、積極的に観血的手術療法を追加施行した方が良いと考えられる。逆に、副腎皮質ステロイド薬の点滴によって Vmax 値と RI 値が増加し、患眼の Vmax 値および RI 値が、健眼の Vmax 値および RI 値と同値（以上）に改善した場合は④が主要原因と考えられ、観血的手術療法を追加施行しても、それ以上に視力、視野、フリッカー値が改善するのは期待しづらいと考えられた。さらに、手術を施行した後も副腎皮質ステロイド薬の点滴を併用する場合、その期間は患眼の Vmax 値および RI 値が、健眼の Vmax 値および RI 値と同値（以上）に改善した時までが最長の期間になると考えられた。

以上、カラードップラー法による外傷性視神経損傷の術前から術後の血流の変化について検討してきたが、本法は外傷性視神経損傷の病態を解く鍵にもなると思われ、今後さらに他の疾患に対しても広く応用され得る検査法として確立されるものと思われる。

文 献

- 1) Namekawa K, Kasai C, Tsukamoto M, Koyano A: Imaging of blood flow using auto-correlation. *Ultrasound Med Biol* 8: 138, 1982.
- 2) Omoto R, Yokote Y, Takamoto S, Tamura F, Asano H, Namekawa K, et al: Clinical significance of newly developed real-time intracardiac two-dimensional blood flow imaging system (2-D Doppler). *J Circ* 47: 191, 1983.
- 3) 山本由記雄: 超音波ドップラー法の臨床的応用。太根節直(編): 眼科 Mook, 25, 眼科における超音波診断, 金原出版, 東京, 199-223, 1985.
- 4) 藤沢邦見, 大戸純恵, 高橋春男, 小出良平, 深道義尚: 外傷性視神経損傷の予後について—とくに視野について—. *眼科手術* 7: 259-263, 1994.
- 5) Burns PN: The physical principles of Doppler and spectral analysis. *J Clin Ultrasound* 15: 567-590, 1987.
- 6) 橋本武光, 太根節直: 眼窩領域における頸動脈ならびに眼窩内動脈血流のカラードップラー断層法による Doppler flowmetry. 日本超音波医学会講演論文

集：609—610, 1990, 第56回.

- 7) 當間みゆき, 萩原高士, 深道義尚, 高橋正一郎, 高山昇, 水野健朗, 他：ドップラー断層法(カラードップラー)を用いた眼窩内動脈血流の観察. 日本超音波医学会講演論文集：第58回, 621—622, 1991.
- 8) 菅田安男, 富田美智子, 山本由記雄：国産超音波診断装置を用いた網膜中心動, 静脈の検知と血流計測の試み. 日本超音波医学会講演論文集：第60回, 355—356, 1992.
- 9) 紀平幸一, 饗場正宏, 虫明孝康, 川内章裕, 紀平弥生：カラードップラー法を用いた眼動脈の観察と応用. 日本超音波医学会講演論文集：第61回, 283—284,

1992.

- 10) 松原 馨, 安部 悟, 堀 洋児：カラードップラー法を用いた網膜中心動脈血流の検討. 日本超音波医学会講演論文集：第62回, 557—558, 1993.
- 11) 深道義尚：視神経管骨折. 深道義尚(編)：眼科Mook, 5, 眼の外傷. 金原出版, 東京, 179—186, 1978.
- 12) 林 正泰：視神経管骨折. 中島 章(編)：図説臨床眼科講座. 常用版, 7, 眼の救急医療, メジカルビュー社, 東京, 74—79, 1986.
- 13) 河井克仁：視神経管骨折. 田野保雄(編)：眼科診療プラクティス, 5, 眼科手術に必要な局所解剖, 文光堂, 東京, 229—235, 1993.