原 著

硬膜動静脈瘻における上眼静脈 Doppler 血流検査所見

川口正一郎 奥野修三 榎 寿右

奈良県立医科大学脳神経外科

Superior Ophthalmic Vein Color Doppler Flow Imaging in Dural Arteriovenous Fistulas

Shoichiro KAWAGUCHI, Shuzo OKUNO, Toshisuke SAKAKI

Department of Neurosurgery, Nara Medical University

An attempt was made to evaluate the findings of color Doppler flow imaging (CDFI) of the superior ophthalmic vein (SOV) in relation to clinical features and angiographic findings in 20 patients with intracranial dural arteriovenous fistula (DAVF).

CDFI studies provided information about the size, flow direction and pulsed Doppler wave curve (waveform) of the SOV in each case. The mean diameter of the SOV was 3.13 mm which was significantly ($p < 0.05$) wider than in normal controls. The flow direction was reversed in one patient, and was normal in the other 19 patients. A reversed pulsatile waveform was observed in one patient, a normograde inverse pulsatile waveform in four and a normal waveform in 15. The patients with clinical symptoms or angiographically retrograde cortical venous filling showed dilatation of the SOV. There was no significant difference in SOV CDFI findings according to the location of the lesion. Surgical removal was performed in 14 patients. Postoperatively, the abnormal SOV CDFI findings improved significantly.

The SOV CDFI findings in the DAVFs correlated well with the clinical symptoms, angiographic findings and surgical results, and these data were useful for evaluation of intracranial venous hemodynamics and also follow-up studies. DAVFs indicating a dilated SOV with an abnormal flow direction and abnormal waveform in SOV CDFI studies were seen in patients with clinical symptoms or retrograde cortical venous filling on angiography.

Key words: color Doppler flow imaging, dural arteriovenous fistula, superior ophthalmic vein

はじめに

頭蓋内硬膜動静脈瘻の臨床経過において、流出静脈の血行動態の関与が大きいことはよく知られている^{2, 5, 8, 13)}。従って、硬膜動静脈瘻の病態の把握に際し頭蓋内静脈系の血行動態を評価することは重要である。これは通常、脳血管撮影における静脈洞の閉塞所見や脳皮質静脈の逆行性の造影所見などにより評価されている。本報告では硬膜動静脈瘻における頭蓋内静脈系血行動態の評価を、上眼静脈 color Doppler flow imaging (CDFI) により観察した。上眼静脈は、頭蓋内静脈と海綿静脈洞を介して、弁を設けず交通し、頭蓋内静脈系の血行動態を反映していると考えられる。本研究では頭蓋内硬膜動静脈瘻で上眼静脈をCDFIを用いて観察し、上眼静脈CDFI所見とその有用性について報告する。

対 象

上眼静脈 CDFI を施行した頭蓋内硬膜動静脈瘻 20 例を

対象とした。年齢は 37 歳から 76 歳平均年齢 62 歳で、男性 8 例女性 12 例であった。硬膜動静脈瘻の存位部位は、横静脈洞-S 状静脈洞 9 例、上矢状洞 4 例、前頭蓋窩 4 例、テント切痕 2 例、中頭蓋窩 1 例であった。臨床症状は、拍動性耳鳴り 5 例、眩暈 3 例、脳虚血発作 3 例、脳内出血 2 例、無症候性 7 例であった。脳血管撮影で脳皮質静脈の逆流は 16 例で認められた。

方 法

上眼静脈 CDFI は Acuson 社製 Computed sonography 128XP を用いて、上眼静脈の直径、血流方向、波形を評価した。検査は、被検者を安静仰臥位にさせ、下方視するように指示の上閉眼させ、眼瞼上に探触子をあて施行した。上眼静脈 CDFI の観察部位は、血管撮影で Krayenbühl らのいう second segment とした¹¹⁾。CDFI は、出力 50 mW/cm²、周波数 5 MHz 又は 7 MHz のリニア型プローブで行った。一側上眼静脈の検査は全体で 3 分以内で終了し、パルスドプラを用いた時間は 1 分以内であった。検査にあたって全

Reprint request

川口正一郎 : 〒634-8522 橿原市四条町 840 奈良県立医科大学脳神経外科

Shoichiro KAWAGUCHI : Department of Neurosurgery, Nara Medical University, 840 Shijo-cho, Kashihara, Nara 634-8522, Japan

[Received January 7, 2000 ; Accepted March 17, 2000]

Fig. 1 Normal superior ophthalmic vein on color Doppler flow imaging of the left orbit.

Fig. 3 Dilated superior ophthalmic vein with reversed flow, indicating flow toward the orbital apex.

Fig. 2 Normal Doppler flow patterns in the superior ophthalmic vein.

A: continuous pattern, B: with cardiac variation, C: with respiratory variation

Fig. 4 Abnormal Doppler flow patterns in the superior ophthalmic vein.

A: reversed arterial pattern, B: pulsatile pattern

例インフォームドコンセントを得た。

症例に先立ち正常対照症例 47 例 (男性 36 例, 女性 11 例, 平均年齢 62 歳) で上眼静脈 CDFI を施行した。47 例全例で上眼静脈の描出は可能であった。上眼静脈径は 2.05 ± 0.26 mm (平均 $\pm$ 標準偏差) で, 血流方向は全例眼球から海綿静脈洞へ向かう方向であった (Fig. 1)。血流波形は, 平坦なものと, 心拍出性の変動が見られるもの, 呼吸性の変動が見られるものがあった^{3,4)} (Fig. 2)。以上より, 上眼静脈 CDFI の異常所見を次のようにした。上眼静脈径は平均値に 2SD を加えた値即ち 2.57 mm 以上を異常値とし, これ以上の場合上眼静脈の拡大とした。血流方向は海綿静脈洞から眼球に向かう方向を逆流とし, 異常とした (Fig. 3)。血流波形は正常例以外を異常波形とし, 逆流波形と順流拍動波形が見られた (Fig. 4)。統計学的検討は, Student's t-test, Chi-square test を用い, p 値が 0.05 以下のとき有意と判定した。摘出術を施行した 14 例では, 術後にも上眼静脈 CDFI 検査を行い術前所見と比較した。

結 果

上眼静脈径は全体では 3.13 ± 1.21 mm (平均 $\pm$ 標準偏差) と対照例と比し有意に ($p < 0.05$) 拡大し, 個々の症例では 14 例 (70%) で 2.6 mm 以上に拡大していた。上眼静脈の血流方向は 1 例 (5%) で逆流していたが, 19 例 (95%) では順流であった。血流波形は, 血流方向が順流であった 19 例中, 4 例 (21%) は拍動性波形を示した。異常波形を示した全例で, 上眼静脈径は 2.6 mm 以上に拡大していた。

脳血管撮影で脳皮質静脈への逆流が認められた症例での上眼静脈径は 3.43 ± 1.17 mm (平均 $\pm$ 標準偏差), 逆流のない症例の上眼静脈径は 1.93 ± 0.33 mm (平均 $\pm$ 標準偏差) でこれらの値には有意差が存在した ($p < 0.05$)。また, 脳皮質静脈への逆流が認められる症例では, 上眼静脈径が CDFI 上 2.6 mm 以上と拡大した症例が, 認められない症例に比べ有意に多く存在した ($p < 0.05$) (Table 1)。血流方向が逆流した症例や異常波形を呈した症例は, 脳血管撮影で脳皮質静脈の逆流が認められた。

臨床症状が無症候性の症例と, 症状を呈した症例で上眼

Table 1 SOV diameter according to retrograde cortical venous filling

SOV diameter	Angiographical retrograde Cortical venous filling	
	Positive (N=16)	Negative (N=4)
<2.6 mm (N=6 cases)	2 cases	4 cases
≥2.6 mm (N=14 cases)	14 cases	0

SOV: superior ophthalmic vein ($p<0.05$)

Table 2 SOV diameter according to clinical symptom

SOV diameter	Clinical symptom	
	Asymptomatic (N=7)	Symptomatic (N=13)
<2.6 mm (N=6 cases)	6 cases	0
≥2.6 mm (N=14 cases)	1 case	13 cases

SOV: superior ophthalmic vein ($p<0.05$)

静脈 CDFI 所見を比較すると、上眼静脈径は無症候性で 2.01 ± 0.46 mm (平均±標準偏差) であったが、症状を表した症例で 3.73 ± 1.05 mm (平均±標準偏差) と無症候性のものに比べ有意に拡張していた。また症状を呈した症例では、上眼静脈径が拡大した症例が、認められない症例に比べ有意に多かった (Table 2)。血流方向が逆流した症例や異常波形を呈した症例は、何れも症候性であった。

硬膜動静脈瘻の存在部位により、上眼静脈 CDFI 所見を比較した。横静脈洞-S 状静脈洞に存在した 9 例では、上眼静脈径が拡大していた症例が 8 例 (89%)、異常波形を示した症例が 3 例であった。上矢状洞に存在した 4 例では 3 例 (75%) が上眼静脈径が拡張し、逆流した症例が 1 例、順流であるが異常波形を示した症例が 1 例であった。前頭蓋窩の 4 症例では、拡張した症例は 2 例 (50%) で異常波形を示した症例はなかった。

手術を施行した 14 例では、上眼静脈径は 3.46 ± 1.10 mm (平均±標準偏差) から 1.73 ± 0.46 mm (平均±標準偏差) へ有意に ($p<0.05$) 縮小した。また術前存在した血流方向の異常や波形の異常は消失した。

考 察

硬膜動静脈瘻は、静脈洞を形成する硬膜や、小脳テント等様々な部位の硬膜に動静脈のシャントを有する後天性の疾患とされている^{15,16)}。臨床症状は、硬膜動静脈瘻の流出静脈が静脈洞や脳皮質静脈へ還流し、その領域の静脈還流障害を来し生じる^{1,2,10,12)}。静脈還流障害の程度により、症状は耳鳴りや頭痛など軽微な症状のものから、脳内出血や脳虚血症状などの重篤な神経症状を呈するもの等々である。Awad らは、流出静脈に皮質静脈を有する症例や、静脈瘤を有する症例、Galen 静脈に流出する症例は臨床的に問題となるので積極的な治療を考慮する必要があると報告している²⁾。従って、硬膜動静脈瘻における頭蓋内静脈系血行動態の把握は、病態把握と治療方針の選択に重要な事項である。

今回の検討では上眼静脈 CDFI により硬膜動静脈瘻にお

ける頭蓋内静脈系血行動態の把握を行った。上眼静脈は海綿静脈洞と静脈弁を介さず交通しているため、頭蓋内静脈系の血行動態に異常を来した場合、上眼静脈も異常所見を来す可能性があることは容易に察せられる。今回行った上眼静脈 CDFI は、B モードの二次元画像と共に、上眼静脈の血流方向の情報を得、更にそのドプラ spectrum を表示し、上眼静脈の形態、血流方向、血流波形を検索する検査法である。既に上眼静脈の超音波画像による評価は、頸動脈-海綿静脈洞瘻 (CCF) において上眼静脈が拡張し血流方向が逆転するということが、その診断的価値が報告されている^{6,7)}。上眼静脈 CDFI は、非常に簡便で、短時間で施行でき、繰り返し行うことも可能な検査法で臨床上有用な検査法であり、頭蓋内静脈循環動態の評価も可能であるが、本検査法を頭蓋内硬膜動静脈瘻の頭蓋内静脈血行動態の分析に用いた報告はない。

今回の対象症例では、臨床症状の強い症例や脳血管撮影で脳皮質静脈の逆流を認める症例では、上眼静脈 CDFI の異常所見を有意に多くの症例で認めた。従って、この上眼静脈 CDFI の異常所見が、硬膜動静脈瘻の頭蓋内静脈系血行動態を反映している可能性が示唆された。今回観察した硬膜動静脈瘻の症例では上眼静脈径の拡大は 70% の症例で認められ、血流波形の異常や血流方向の異常を認めた症例では全例上眼静脈が拡大していた。また、臨床症状を呈した症例や脳血管撮影上脳皮質静脈の逆流を認める症例では、上眼静脈の拡大が有意に存在した。従って、硬膜動静脈瘻の静脈系血行動態の異常を現わす上眼静脈 CDFI 所見として、上眼静脈径の拡大が先ず最初に出現し、次いで上眼静脈波形に動脈脈波の影響を来し、上眼静脈の波形異常を生じると考えられた。さらに、流入動脈から静脈への血流量が増加すると、上眼静脈の逆流が生じると推察できた。従って、上眼静脈の逆流を認めた症例は最も強い静脈系血行動態の異常を来していると考えられ、注意を要する所見であった。実際、今回の対象症例でも、上眼静脈の逆流を認めた症例は、1 例ではあるが繰り返し生じる四肢麻痺を来した脳虚血発作で発症した症例であった。

今回の検討では、上眼静脈径はカラードプラ上で計測したが、カラードプラでは実際の血管径よりも、過大評価される傾向があるのでその読影には注意を要する。

硬膜動静脈瘻の治療を積極的に行うか否か、また治療する際にも、経動脈的若しくは経静脈的な血管内治療や、定位的放射線治療、外科的摘出等の選択肢があり、その決定に苦慮することがある¹⁴⁾。その際注目されるのが脳血管撮影での静脈の逆行性の造影所見である²⁾。今回行った上眼静脈 CDFI は頭蓋内静脈系の異常所見を反映しており、頭蓋内動静脈瘻の治療や検査を進める一つの指標となり、スクリーニング検査として有用であると考えられた。また手術施行症例では、術後上眼静脈径が有意に縮小したことや、血流方向と波形の異常が消失したことを考慮すると、手術効果の評価法としても有用な検査であった。

眼窩に対する超音波検査で問題となるのは、眼窩内の水晶体、硝子体など血液循環の乏しい組織における超音波による発熱効果から生じる組織障害である。今回の検査中、患者は仰臥位閉眼状態で下方視するように指示し、一側の上眼静脈 CDFI を施行する時間は 3 分以内とした。出力は 50 mW/cm^2 を用いたが、この値は米国の Food and Drug Administration が推奨している 17 mW/cm^2 より高いものの、American Institute of Ultrasound in Medicine が規定している安全限界 100 mW/cm^2 より低い^{6,7)}。Hu らは 12 年間にわたり 25000 例に 50 mW/cm^2 で眼窩 Doppler sonography を行い、合併症の生じた症例はなく問題なかったと報告している⁹⁾。今回対象とした症例でも、検査後合併症を生じた症例はなかったが、出力は可能な限り低くし、カラードプラーやパルスドプラーを行う時間は最小限とするなど、安全性には極力注意を払って本検査を施行する必要がある。

結 語

硬膜動静脈瘻における上眼静脈 CDFI 検査は、非侵襲的に繰り返し静脈系血行動態を評価することが可能であった。硬膜動静脈瘻の上眼静脈 CDFI 所見は、上眼静脈の拡大、血流波形異常、血流方向異常を呈し、これらの所見は臨床症状の重症度や脳血管撮影での逆行性皮質静脈造影所見や治療成績と関連した。

文 献

- 1) Awad IA: Dural arteriovenous malformations, in Carter LP, Spetzler RF, Hamilton MG (eds): *Neurovascular Surgery*. New York: McGraw-Hill, 1995, pp905-932
- 2) Awad IA, Little JR, Akrawi WP, Ahi J: Intracranial dural arteriovenous malformations: factors predisposing to an aggressive neurological course. *J Neurosurg* 72: 839-850, 1990
- 3) Belden CJ, Abbitt PL, Beadles KA: Color Doppler us of the orbit. *Radiographics* 15: 589-608, 1995
- 4) Berges O: Color Doppler flow imaging of the orbital veins. *Acta ophthalmologica* 204: 55-58, 1992
- 5) Borde JA, Wu JK, Shucart WA: A proposed classification for spinal and cranial dural arteriovenous malformations and implications for treatment. *J Neurosurg* 82: 166-179, 1995
- 6) Erickson SJ, Hendrix LE, Masaro BM, Harris GJ, Lewandowski MF, Foley WD, Lawson TL: Color Doppler flow imaging of the normal and abnormal orbit. *Radiology* 173: 511-516, 1989
- 7) Flaharty PM, Lieb WE, Sergott RC, Bosley TM, Savino PJ: Color Doppler imaging. *Arch Ophthalmol* 109: 522-526, 1991
- 8) Houser OW, Becker HL Jr, Rhoton AL Jr, Okazaki H: Intracranial dural arteriovenous malformations. *Radiology* 105: 55-64, 1972
- 9) Hu HH, Luo CL, Sheng WY, Teng MMH, Wong WJ, Luk YO: Transorbital color Doppler flow imaging of the carotid siphon and major arteries at the base of the brain. *Am J Neuroradiol* 16: 591-598, 1995
- 10) Hurst RW, Hackney DB, Goldberg HI, Davis RA: Reversible arteriovenous malformation-induced venous hypertension as a cause of neurological deficits. *Neurosurg* 30: 422-425, 1992
- 11) Krabenbühl H, Yasargil G: Orbital veins, in Huber P (ed): *Cerebral Angiography*, 2nd ed., Stuttgart: Georg Thieme Verlag, 1982, pp232-235
- 12) Kurata A, Miyasaka Y, Yoshida T, Kunii M, Yada K, Kan SI: Venous ischemia caused by dural arteriovenous malformation. *J Neurosurg* 80: 552-555, 1994
- 13) Lalwani AK, Dowd CF, Halbach VV: Grading venous restrictive disease in patients with dural arteriovenous fistulas of the transverse/sigmoid sinus. *J Neurosurg* 79: 11-15, 1993
- 14) Lucas CP, Zabramski JM, Spetzler RF, Jacobowitz R: Treatment for intracranial dural arteriovenous malformations: A meta-analysis from the English language literature. *Neurosurgery* 40: 1119-1132, 1997
- 15) Nishijima M, Takaku A, Endo S, Kuwayama N, Koizumi F, Sato H, Owada K: Etiological evaluation of dural arteriovenous malformations of the lateral and sigmoid sinuses based on the histopathological examinations. *J Neurosurg* 76: 600-606, 1992
- 16) Uranishi R, Nakase H, Sakaki T: Expression of angiogenic growth factors in dural arteriovenous fistula. *J Neurosurg* 91: 781-786, 1999