Shuttle方式Xe-CT法による脊髄血流量測定

伊古田俊夫・菊池 晴彦・唐澤 淳・栗山 良紘*

Measurement of Human Spinal Cord Blood Flow using Xenon and Computerized Tomography

Toshio IKOTA, Haruhiko KIKUCHI, Jun KARASAWA and Yoshihiro KURIYAMA*

Department of Neurological Surgery and *Cerebrovascular Division, Department of Internal Medicine, National Cardiovascular Center, Suita, Osaka

Abstract

Noninvasive measurement of human spinal cord blood flow (SCBF) has not yet been established. The authors successfully measured human SCBF by using xenon and a CT scanner (Shuttle method). This method was clinically applied in 10 patients without spinal cord pathology. Mean SCBF of the normal adult at the C₅ level was 42.3 ± 6.3 ml/100 g/min. CO₂ reactivity in SCBF was also detected. This method may well be used in the clinical study of human SCBF.

Key words: spinal cord blood flow, xenon, computerized tomography

I はじめに

脊髄血流量(SCBF)測定には、実験的方法として水素クリアランス法¹⁾、同位元素を利用した方法^{2,3)}などが用いられている。しかしヒト SCBF を非観血的に測定する臨床応用可能な方法は、いまだ開発されていない。我々は、局所脳血流量(LCBF)測定法として開発した Shuttle 方式 Xe-CT 法^{4,5)}を脊髄に応用することにより、SCBF 測定に成功した。本法は、臨床応用可能な SCBF 測定法として現段階ではもっとも有望な方法と考えられる。これまでに測定を行った正常脊髄例での検討結果について、考察を加え報告する。

II 対 象

種々の脳血管障害の精査のため Shuttle 方式 Xe-CT を施行した成人 5 例、小児 5 例の計 10 例を対象とした。神経症状、脊椎 X 線撮影、spinal CT などの検査で脊髄の異常は認めず、全例正常脊髄例であった。成人例は 30~66 才で平均 45 才、その疾患別内訳は脳動静脈奇形 1 例、脳動脈瘤(術後) 1 例、大動脈炎症候群 1 例、内頸動脈閉塞症 2 例で

あった。小児例は 7~13 才で平均 8.6 才、全例“モヤモヤ”病であった。

III 方 法

SCBF 測定は、Shuttle 方式 Xe-CT 法による LCBF 測定の一部としてすでに報告した方法^{4,5)}で行った。すなわち、Shuttle 方式 Xe-CT 法では分配係数測定のため table cradle により頸動脈を含む頸部を scanning するが、この頸部スライスを SCBF 測定に用いた。測定部位は、脊椎椎体レベルで第 4・5 頸椎間で第 5 頸髄に一致し、この部は下顎骨や肩による CT 上のアーチファクトをもっとも受けにくい部位である。

使用器種は GE CT/T8800 で、NLA 麻酔下に 10 分間 100% O₂ 吸入(脱窒素)後、50~70%濃度の xenon gas を 20 分以上吸入させた。吸入は閉鎖低流量 xenon 法によった。測定中のモニターシステムは吸入ガス中酸素濃度、呼気終末炭酸ガス濃度、動脈圧(直接法)、心電図で、ときどき採血法による動脈血ガス分析を行った。頸部(第 5 頸髄部) scanning は頭部を含む Shuttle 方式 scan sequence に従って行われ、xenon gas 吸入前より吸入開始 20 分後まで計 7 回

国立循環器病センター脳神経外科 *同内科脳血管部門

Address reprint requests to: T. Ikota, M. D., Department of Neurological Surgery, National Cardiovascular Center, 5-125 Fujishirodai, Suita, Osaka 565.

受稿 1983年1月10日 受理 1983年4月21日

Fig. 1 Region of interest (ROI) for spinal cord blood flow (SCBF) analysis. A: Plain CT of spinal cord. B: ROI for SCBF analysis. C: ROI projected on a transverse plane of the normal spinal cord, reproduced with permission obtained from the author²⁾. FNP indicates funiculus posterior; FNL, funiculus lateralis; FNA, funiculus anterior; CNP, cornu posterius; CNA, cornu anterior; FIMA, fissura mediana anterior; RXD, radix dorsalis; RXV, radix ventralis; LGD, ligamentum dentatum.

行われた。血流量の計算は、頸動脈と脊髄組織の CT 値変化に一次指数関数の curve fitting を行い、Fick の原理に従い $F=100 k\lambda \text{ ml}/100 \text{ g}/\text{min}$ (k : たちあがり率, λ : 分配係数)より求めた。

以上の測定法により、第 5 頸髄部につき ROI analysis を用いて以下の測定を行った。

1. 脊髄中心部 SCBF の測定

灰白質を中心とした長方形の ROI (Fig. 1B) を設定した。なお、CT 像はすべて向って右が左側を示す。この ROI を正常第 5 頸髄横断面の解剖²⁾と比較すると、Fig. 1C のような ROI になると推測される。この場合の面積比は、掃帚式プランニメーターで測定すると灰白質 40%、白質 60% というおおまかな分布である。Shuttle 方式 Xe-CT 法における ROI analysis では、CT 画像上でただちに curve fitting と演算の妥当性が判定できる。この特性を利用し ROI をトラックボールにより調整しつつ、curve fitting のもっとも良好な位置で SCBF を求め、計測値にばらつきが多いときは、3 回以上計測して平均値を求めた。

2. SCBF の左右差の検討

SCBF 測定後長方形の ROI を左右に分け (Fig. 2)、第 5 頸髄横断面での左右差を検討した。

3. 炭酸ガス反応性の検討

10 例中 3 例 (成人 1, 小児 2) で、SCBF の炭酸ガス反応性を検討した。ROI は Fig. 1 と同様とし、 $\Delta \text{SCBF}/\Delta \text{PaCO}_2$ で検討した。

Fig. 2 ROI for analysis of SCBF laterality. A: left side, B: right side.

IV 結 果

1. 脊髄中心部 SCBF

10 例全例について良好な curve fitting が得られ、ROI

analysis による SCBF を求めることができた。代表例での測定結果を Fig. 3 に示す。第5頸髄中心部 正常 SCBF (mean $\pm$ SD) は、成人例(平均45才)では 42.3 ± 6.3 ml/100 g/min (PaCO₂ 41.4 $\pm$ 1.5 mmHg, MAP 93.6 $\pm$ 6.2 mmHg), 小児例(平均8.6才)では 33.9 ± 6.8 ml/100 g/min (PaCO₂ 42.6 $\pm$ 1.7 mmHg, MAP 87.6 $\pm$ 7.5 mmHg)であった。

2. 脊髄中心部 SCBF の左右差

中心部 SCBF は、成人例では左側 47.4 ± 8.0 ml/100g/min, 右側 45.3 ± 16.3 ml/100 g/min で左右差はまったく認めず, 小児例でも 左側 35.5 ± 6.3 ml/100 g/min, 右側 36.5 ± 6.6 ml/100 g/min でやはり左右差は認めなかった。測定例を Fig. 4 に示す。

3. SCBF の炭酸ガス反応性

炭酸ガス反応性を検討した3例(成人1, 小児2)の Δ SCBF/ Δ PaCO₂ はそれぞれ0.45, 0.69, 1.07であり, 脊髄循環において炭酸ガス反応性が認められた。1例をFig. 5 に示す。

V 考 察

臨床応用可能な SCBF 測定法は, いまだ開発されていない。したがってヒト SCBF に関する知見は少なく, 脊髄血管造影法によるものや剖検標本での種々の検索による知見が中心であった⁷⁾。これらの研究では, 循環障害が各種脊髄疾患の病態のなかでしばしば重要な役割を持つと指摘されており⁷⁾, SCBF 測定法が臨床検査法として開発され

るならば, 脊髄疾患の病態解明に大きな進歩がみられることが予想される。以下, これまでに得られた SCBF 測定の結果について検討を加え, 問題点・課題について言及する。

我々の用いた Shuttle 方式 Xe-CT 法は, 1回の xenon gas 吸入で multi-level の血流測定が可能のように

Fig. 4 Lateralization of SCBF (13-year-old female). SCBF of both sides are almost equal.

Fig. 3 ROI analysis of human SCBF (30-year-old female). SCBF is 39.63 ml/100 g/min (PaCO₂ 40.0 mmHg, MAP 95 mmHg).

Fig. 5 CO₂ reactivity of SCBF (13-year-old female). Δ SCBF/ Δ PaCO₂=0.69

定められた program により, table cradle がなされる方法である. Shuttle という言葉は元来機織りの梭からとったもので, 短い区間を頻繁に往復する飛行機や列車の便を Shuttle service と呼ぶことになっている. Shuttle 方式 Xe-CT 法は, 従来の Xe-CT 法の問題点⁶⁾を数多く解決した新しい三次元局所脳血流量測定法で, 唐澤・栗山が中心になり開発したものである^{4,5)}. 今回の脊髄への応用は第5頸髄部のみであったが, 細長い構造を持つ脊髄の血流測定は, Shuttle 方式以外では事実上困難であると考えられる.

我々の得た成人第5頸髄中心部 SCBF (mean±SD) は 42.3 ± 6.3 ml/100 g/min (PaCO₂ 41.4±1.5 mmHg) であったが, この値を SCBF として考える上で若干の問題点がある. すなわち, ROI として設定された領域内部の灰白質と白質の比率が正確には把握できないため, 脊髄構造の変形・破壊を伴う病的状態に対しては測定結果の評価が困難である. 今回の正常例での検討では, 第5頸髄部で長方形の ROI を定め, 灰白質と白質の面積比を帰零式プランメーターで測定した. 42.3 ± 6.3 ml/100 g/min という値は, 灰白質40%, 白質60%という条件のもとでの SCBF として考えられねばならない. また今回の検討では, ROI を調整しつつ一次指数関数の curve fitting の良好な部位で SCBF を求めた. この際, ROI の調整に応じ SCBF に大きなばらつきがみられることがあり, ROI 1ピクセル (0.8×0.8 mm) の移動で SCBF 5~15 ml/100 g/min の変動をみた例もあった. 特に, 吸入 xenon 濃度の低い場合や肥満者の場合にその傾向があった. ばらつきの極端な例は今回の検討から除外し, また3回以上繰り返し計算して平均値を求めるなどの処理を行った. 我々の得た数値は, このような条件のもとでの数値である.

さて, 限られた条件下ではあるが, 得られた SCBF 値の妥当性はどうか. ヒトでの三次元 LCBF 測定による結果をみると, Yamamoto ら⁹⁾は positron emission CT 法で脳皮質 CBF 74 ± 10 ml/100 g/min (frontal), 76 ± 10 ml/100 g/min (parietal), 脳白質 31 ± 3 ml/100 g/min とし, Meyer ら⁶⁾は Xe-CT 法で脳灰白質 84.4 ± 15.3 ml/100 g/min, 脳白質 42.4 ± 8.3 ml/100 g/min としている. 我々の得た SCBF 値をこれら CBF 値と比較した場合やや低く, 数値的にはほぼ妥当な結果であると考えられた. さらに動物実験での SCBF についてみると, 田村ら⁸⁾は水素クリアランス法でウサギ胸髄灰白質 38.3 ± 1.85 ml/100 g/min, 同白質 19.5 ± 1.33 ml/100 g/min とし, Ducker ら¹⁾は ¹³³Xe washout 法でイヌ灰白質および白質 15.2 ± 1.3 ml/100 g/min, Griffiths⁹⁾も同法でイヌ白質 15.7 ± 6.6 ml/100 g/min としている. 測定方法, 動物の種類, 測定部位

などで測定条件が大きく異なり, 我々のヒト SCBF と比較することは困難であるが, 少なくとも矛盾した結果ではないと考えられ, 今後のヒト SCBF の研究における一つの参考値には十分なりうると考えられた.

なお小児例では成人例より SCBF が低く, この結果の解釈は困難である. CBF は成人より小児のほうが有意に高いのが普通であり, 我々の得た小児例での数値は正常コントロール値にはなりえないと考えられた. この点は今後さらに検討を加えたい.

SCBF の左右差はまったく認めなかったが, 解剖学的に脊髄の構造, 血管支配について特別な左右差は認めず, これまでの動物実験^{1,3,8)}でも測定部位の左右を問題としてはいない. したがって SCBF に左右差をみなかったという結果は, それ自身妥当であると同時に Shuttle 方式 Xe-CT 法が SCBF 測定法として利用可能な方法であることを一面で裏付けたと言える.

次に脊髄循環の炭酸ガス反応性であるが, PaCO₂ 減少に伴い SCBF は有意に減少し, 炭酸ガス反応性を認めた. すでに動物実験において SCBF は炭酸ガス反応性を持つとされており^{1,3,8)}, 我々の結果は, 細かい数値そのものは今後の検討にゆだねるとして, ヒト脊髄循環の炭酸ガス反応性を実証したものとと言える.

以上, 我々の SCBF 測定法および測定結果について述べてきた. 本法が SCBF 測定法として確立していく上では, CT scanner の性能が大きく左右する. つまり, 脊髄そのものを描出できなければ本法を施行することはできず, また患者の条件(体格・肥満度など)も大変重要である. 我々の用いた機種で比較的安定した測定が可能なのは上~中位頸髄程度であり, それ以外の部位については今後の検討課題である. CT scanner の今後の改良とともに, より安定した SCBF 測定が可能となってゆくと考えられる. いずれにせよ, Shuttle 方式 Xe-CT 法は臨床応用可能なヒト SCBF 測定法としてもっとも有望なものと考えられ, 本法の確立により脊髄疾患の病態解明に新たなアプローチが提供されるものと期待される.

VI 結 語

1. Shuttle 方式 Xe-CT 法によりヒト SCBF 測定を行い, 次の結果を得た.
2. 第5頸髄部での成人正常 SCBF は 42.3 ± 6.3 ml/100 g/min であり, 同部横断面での SCBF には左右差を認めなかった. また SCBF の炭酸ガス反応性を認めた.
3. 以上はいずれもヒト脊髄について初めて明らかにされたことであるが, ほぼ妥当な結果と考えられた.
4. Shuttle 方式 Xe-CT 法は, 臨床応用可能な SCBF

測定法としてもっとも有望な方法と考えられ、本法の確立により脊髄疾患の病態解明において新たなアプローチが可能になると考えられた。

文 献

- 1) Ducker TB, Perot PL Jr: Spinal cord blood flow compartments. *Trans Am Neurol Assoc* 96: 229-231, 1971
- 2) 後藤 昇: 脳脊髄血管の解剖. 東京, 医歯薬出版, 1971, 32pp
- 3) Griffiths IR: Spinal cord blood flow in dogs; 1. The 'normal' flow. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 36: 34-41, 1973
- 4) 唐澤 淳, 栗山良紘, 菊池晴彦, 澤田 徹, 小塚隆弘, 内藤博昭, 坂下善治, 畔 政和: キセノンガス, CTスキャナーを使用した同時多層脳血流測定—Shuttle方式の開発—. CT 研究(投稿中)
- 5) 栗山良紘, 唐澤 淳: 局所脳血流測定装置の現状—新たな設備を必要としないシャトル法—. *新医療* 9: 19-22, 1982
- 6) Meyer JS, Hayman AL, Nakajima S, Amano T, Lanza P: Local cerebral blood flow and tissue solubility measured by stable, xenon-enhanced computed tomography, in Carney AL, Anderson EM (eds): *Advances in Neurology, vol. 30, Diagnosis and Treatment of Brain Ischemia*. New York, Raven, 1981, pp 73-84
- 7) 大友英一: 脊髄血管の解剖および血行動態. *神経進歩* 18: 443-462, 1974
- 8) 田村 晃, 浅野孝雄, 佐野圭司: 家兎脊髄血流量の測定—胸髄中心灰白質血流量と炭酸ガス反応性—. *脳と神* 30: 383-386, 1978
- 9) Yamamoto YL, Thompson C, Meyer E, Nukui H, Matsunaga M, Feindel W: Three dimensional tomographical regional cerebral blood flow in man, measured with high efficiency MNI-BGO two ring positron device using Krypton-77. *Acta Neurol Scand [Suppl]* 72: 186-187, 1979

〔別刷請求先: 〒565 大阪府吹田市藤白台5-125, 国立循環器病センター脳神経外科, 伊古田俊夫〕