超音波ドップラー法による椎骨・総頸動脈血流測定法

—健常成人を対象として—

和田 佳郎・藤田 信哉・康 勲
上田 隆志・松永 喬

Measurement of the Vertebral and Common Carotid Arterial Hemodynamics of Normal Subjects by Ultrasonic Doppler Method

Yoshiro Wada, Nobuya Fujita, Isao Koh, Takashi Ueda and Takashi Matsunaga
(Nara Medical University)

This study was performed to clarify the hemodynamic of vertebral and common carotid arteries of normal subjects by ultrasonic doppler method. Subjects were 51 in all, i.e., 41 males and 10 females, between 22 and 64 years old.

For the vertebral artery, mean blood velocity (BV) was 9.4 ± 3.5 cm/s, mean blood flow volume (BF) was 1.6 ± 0.6 ml/s and mean vessel diameter (VD) was 4.6 ± 0.5 mm. On the other hand, for the common carotid arteries, BV was 31.5 ± 5.2 cm/s, BF was 14.0 ± 3.2 ml/s and VD was 7.5 ± 0.6 mm. BV of the vertebral arteries increased in the elderly, whereas BV of the common carotid arteries decreased in the elderly.

Key words: ultrasonic doppler method, vertebral artery, common carotid artery, hemodynamics

はじめに

耳鼻咽喉科外来においてめまいを主訴とする患者数は年々増加傾向にあり、特に原因不明のめまい患者のしめる割合は大きい¹⁾。その中には自律神経機能異常や循環障害、特に椎骨脳底動脈系の循環障害が関係するめまいが数多く含まれていると考えられている^{2)~6)}。我々も従来より椎骨動脈系の循環障害がめまい疾患と関係があると考え、比較的容易かつ安全な椎骨動脈血流測定法である超音波ドップラー法⁷⁾⁸⁾を、めまい疾患の補助診断として用いてきた。しかしこの測定法は間接的な測定法であるが故に、正常値の特徴をよく知っておくことが大切であ

る。そこで今回、健常成人の椎骨動脈のみならず総頸動脈にも超音波ドップラー法を施行し、血流動態を測定したので、その結果を報告する。

対象及び方法

めまい、難聴などの既往のない内耳機能正常と思われる健常成人51人（男41人，女10人，22-64歳，平均年齢39.8歳）である（表1）。

装置と原理

測定装置は超音波血流測定装置（林電気製，DFM-4500）を使用した。図1にブロックダイヤグラムを示す。測定の基本原理⁹⁾¹⁰⁾は、超音波パルスエコートラッキング法にて血管の後壁・前壁エコー間の距離すなわち血管径 $D(t)$ を

求め、それから血管断面積 $S(t)$ を算出する．次に一送波二受波超音波ドップラー法により血流速度 $V(t)$ を求め、次式によって血流量 $Q(t)$ を求める．

$$Q(t) = V(t) \times \pi(D(t)/2)^2 = V(t) \times S(t) \dots\dots\dots 1$$

心電図 QRS の立ち上がりを trigger とし、血流速度、血流量、血管径の 5-15 回の加算平均を記録した．

測定方法

被験者をベット上仰臥位にし、両足右手に心電図の電極を装着し、安静状態にて測定を開始した．

総頸動脈の測定は前頸部を軽く伸展させ総頸動脈分岐部より 1-2 横指心臓側にゼリーをつけたプローブを軽く圧着し、ドップラー音が最大で血管壁エコー鮮明かつ振幅最大になる条件で測定した．椎骨動脈の測定は前頸部を軽く反対側に向かせ頸椎横突起を触診で探り、乳様突起より 1-2 横指下方、1 横指後方の第 1-第 2 あ

るいは第 2-第 3 横突起間と思われる部位にゼリーをつけたプローブを軽く圧着し、ドップラー音が最大になる条件で測定した．椎骨動脈は後頭動脈とまぎらわしい場合が多く、同側の総頸動脈を圧迫してドップラー音が減弱せず、測定部位を触診して大きな拍動を認めなければ椎骨動脈と同定した．

測定項目

椎骨動脈・総頸動脈の血流速度、血流量、血管径を測定し、その左右差、性差、加齢による変化を検討した．なお左右差は次式によって求める左右差指数で表した．

$$\text{左右差} = |(右 - 左) / (右 + 左)| \times 100\%$$

結 果

1. 椎骨・総頸動脈の血流測定値

表 2 は健康成人 51 人の椎骨・総頸動脈における平均血流速度、血流量、血管径である．表 3 は左右別々の椎骨・総頸動脈における血流速度、血流量、血管径と、椎骨動脈血流速度の左右差指数と、総頸動脈の血流速度、血流量、血管径の左右差指数である．椎骨動脈は総頸動脈に比して血流速度で約 1/3、血流量で約 1/9 であった．

なお被験者によって椎骨動脈血管壁エコーが不鮮明すなわち椎骨動脈血管径の測定が確実でない場合が少なくなく、その場合 1 の式からわかるように血流量の値も不確実になるため、椎骨動脈の血流量と血管径に関しては以下の分析を行わなかった．

表 1 健康成人の年齢分布 (人数)

年 齢	男 性	女 性	計
20—29	16	3	19
30—39	7	1	8
40—49	6	1	7
50—59	5	5	10
60—69	7	0	7
計	41	10	51

図 1 ブロックダイアグラム

2. 左右差

椎骨動脈血流速度は左が右よりやや速いが統計学的な有意差はなかった（表3参照）。総頸動脈は血流速度、血流量、血管径ともほとんど左右差は認められなかった。血流速度の左右差指数の平均、標準偏差とも椎骨動脈が総頸動脈に比較して大きかった。

3. 性 差

椎骨動脈血流速度は女性が男性よりやや速く、総頸動脈血流速度は逆に男性が女性よりやや速いが、共に有意差はなかった（表4）。しかし総頸動脈血流量、血管径は左右とも有意（ $p < 0.01$ ）に男性の値が大きかった。血流速度左右差指数は、椎骨動脈は男性が女性よりやや値が大きいのものの有意差はなく、総頸動脈は性差はみられなかった。また総頸動脈の血流量左右差指数には性差はみられなかったが、血管径左右差指数は有意（ $p < 0.05$ ）に男性が大きかった。

4. 加齢による変化

健常成人の椎骨・総頸動脈102本について加

表2 健常成人51人（男41人，女10人，平均39.8歳，22-64歳）における椎骨・総頸動脈血流（平均）

動 脈	椎 骨 動 脈	総 頸 動 脈
血 流 速 度	9.4±3.5 cm/s	31.5±5.2 cm/s
血 流 量	1.6±0.6 ml/s	14.0±3.2 ml/s
血 管 径	4.6±0.5 mm	7.5±0.6 mm
	(mean±S.D.)	

齢による血流の変化を検討する目的で、各測定値と年齢との相関を調べた（図2）。椎骨動脈血流速度は加齢と共にやや速くなるものの有意な相関はないが、それとは逆に総頸動脈血流速度は加齢と共に遅くなり、有意（ $p < 0.01$ ）な負の相関を示した。また性差のみられた総頸動脈血流量および血管径を男女別々にみると、男女とも総頸動脈血流量と年齢にはほとんど相関はみられないが、血管径は加齢と共に太くなり、

表4 椎骨・総頸動脈血流の性差

測 定 項 目			男 N=41 38.9歳 (22-64)	女 N=10 43.3歳 (24-59)
椎 骨 動 脈	血流速度 cm/s	右	8.8±3.7	10.0±3.2
		左	9.5±3.6	10.5±2.6
	血流速度左右差 %		17.3±14.0	10.1±9.4
総 頸 動 脈	血流速度 cm/s	右	31.4±4.9	29.7±6.6
		左	32.0±4.9	31.3±5.8
	血流速度左右差 %		5.2±4.5	5.3±7.2
血 流 量	血 流 量 ml/s	右	14.7±3.0 —**—	11.4±1.9
		左	14.6±3.4 —**—	11.6±1.2
	血 流 量 左右差 %		5.5±4.5	4.0±3.7
血 管 径	血 管 径 mm	右	7.6±0.7 —**—	7.0±0.4
		左	7.6±0.5 —**—	6.9±0.4
	血 管 径 左右差 %		2.7±2.1 —*—	1.3±1.4

左右差 = $|右 - 左| / 右 + 左 \times 100\%$ (mean±S.D.)
t-test, **: $P < 0.01$, *: $P < 0.05$

表3 健常成人51人（男41人，女10人，平均39.8歳，22-64歳）における椎骨・総頸動脈血流（左右別）

動 脈	椎 骨 動 脈			総 頸 動 脈		
	右	左	左 右 差	右	左	左 右 差
血 流 速 度	9.0±3.6 cm/s	9.7±3.4 cm/s	15.9±13.4 %	31.1±5.3 cm/s	31.8±5.1 cm/s	5.2±5.0 %
血 流 量	1.6±0.7 ml/s	1.6±0.6 ml/s		14.0±3.1 ml/s	14.0±3.3 ml/s	5.2±4.3 %
血 管 径	4.7±0.5 mm	4.6±0.5 mm		7.5±0.7 mm	7.4±0.6 mm	2.4±2.1 %

左右差： $|右 - 左| / 右 + 左 \times 100\%$

(mean±S.D.)

特に男性には有意 ($p < 0.01$) な正の相関がみられた. 次に健常成人51人について加齢による血流の左右差指数の変化をみると (図3), いずれの測定値も年齢と有意な相関は認められなかった.

考 察

椎骨動脈は鎖骨下動脈から分岐した後, 頸椎横突起孔内を上行し, 頭蓋内に入って脳底動脈となる. したがって超音波ドップラー法による椎骨動脈の測定は限られた横突起間で施行しなければならない. 血流速度の測定は後頭動脈との鑑別にさえ注意すれば確実にできるが, 血管径の測定は横突起や周囲組織との解剖学的な関係で困難な場合が少なくない. 1の式からわかるように, 血流量を求めるには血管径の値が必要であり, 今回は不確実な椎骨動脈の血管径及び血流量についての詳細な検討は行わなかった.

また超音波ドップラー法は間接的な血流測定法であるため, その再現性を検討したところ, 血流速度については椎骨動脈で平均 $\pm 5.6\%$, 総頸動脈で $\pm 6.2\%$ の測定誤差がみられた. 以上は現時点での超音波ドップラー法による椎骨・総頸動脈血流測定法の限界であるとも言える.

左右2本の椎骨動脈および総頸動脈は並列流流体管であると同時に, その1本1本に注目すれば直列流体管でもある. 単純な並列流流体管は管径に左右差があれば太い方が流速は速くなるが, 逆に直列流体管は管径に細い部分があればその部分で流速は速くなる¹¹⁾. さらに流体管の弾性や流体の粘性, また実際には側枝や末梢血管抵抗の影響も大きく, 血流速度の解釈は簡単にはできないが, 可能な範囲で今回の測定結果について考察を試みた.

図2 椎骨・総頸動脈血流と年齢の相関

1. 正常値について

超音波ドップラー法による健常成人の椎骨・総頸動脈血流の測定値は、報告者によってその値が少しずつ異なっている¹²⁾¹³⁾。これは測定装置や測定方法、測定部位、あるいは被験者の測定体位の違い等によるものであろう。我々の測定結果は例えば松永ら¹⁴⁾の値に比べてやや大きいものの、それぞれの項目がほぼ同じ割合で大きく、相対的な違いであると思われる。このため超音波ドップラー法の正常値は各施設ごとに定める必要があり、測定値の絶対値よりもむしろ左右差や経時変化¹⁵⁾に臨床的意義があると思われる。

2. 左右差について

総頸動脈血流にはほとんど左右差はないが、椎骨動脈血流速度は有意差はないものの右9.0 cm/s, 左9.7 cm/s と左の方が速い。また左右

差指数の平均も椎骨動脈15.9%, 総頸動脈5.2%と椎骨動脈がはるかに大きく、標準偏差も椎骨動脈が大きい。一方亀山¹⁶⁾は60歳以上の老年者剖検例165例の解剖学的検索より、椎骨動脈血管径の左右差著明なものは51例(31%)におよび、うち39例(24%)では右が細かったと報告している。これらの事実から椎骨動脈を単純な並列流体管とみなせば、解剖学的に左が太いため血流速度が速くなり、総頸動脈に比べてvariationに富んでいるため左右差指数の平均や標準偏差が大きくなったと理解することができる。したがって椎骨動脈血流速度の左右差が存在する場合、正常範囲か病的左右差であるかという判断は慎重に下さなくてはならない。

3. 性差について

総頸動脈に関しては、血流速度にはほとんど性差はみられないにもかかわらず、血流量及び

図3 椎骨・総頸動脈血流左右差指数と年齢の相関

血管径は共に男性が女性に比べ有意に値が大きい、これは1の式から男性の血管径が太いことに起因するということがわかる。また血流量および血管径左右差指数も男性が女性に比べ大きく、これも男性の血管径の左右差が大きいことに起因するものと思われる。一方椎骨動脈血流速度は有意差はないものの女性がやや速い。この理由はよくわからないが、女性の椎骨動脈血管径が相対的に細いため、血流速度が速くなったのではないかと推測できる。

4. 加齢による変化について

総頸動脈に関しては、加齢と共に血流速度は遅く、血管径は太くなるが、血流量にはほとんど変化はみられなかった。総頸動脈の血管径が太くなるのは、加齢による動脈硬化によって血管壁弾力繊維の断裂・減少が生じ血管が伸展した結果であろう¹⁷⁾¹⁸⁾。またそれに総頸動脈の末梢血管抵抗の増大が加わった結果、血流速度が遅くなったのであろう。そして血管径は太くなるが血流速度が遅くなったので、相殺されて血流量にはほとんど変化がみられなかったと推測できる。しかし今回は64歳までしか対象にしておらず、澤井¹⁹⁾は60歳以上から総頸動脈血流量は減少すると報告していることから、今後対象をもう少し高齢にまで広げて検討する必要があると思われた。一方、椎骨動脈血流速度は年齢との間に有意な相関関係はないもののやや速くなる傾向がみられ、総頸動脈とはまったく逆の加齢変化を示すことは興味深く思われた。また椎骨・総頸動脈血流の左右差指数と年齢との間には有意な相関関係はみられなかったものの、椎骨動脈血流速度左右差指数は減少、総頸動脈血流速度左右差指数は増加傾向と、やはり逆の加齢変化を示した。特に加齢と共に椎骨動脈血流速度はやや速く、椎骨動脈血流速度左右差指数はやや小さくなるという結果は、後藤²⁰⁾の椎骨動脈血管径の左右差は若年者では大きい、加齢と共に動脈硬化が進み径が小さくなると左右差が小さくなる方向に向かう、という解剖学的な報告とよく一致する。いずれにせよ椎骨動

脈と総頸動脈とは、その血流の加齢変化に明らかな差が存在し、総頸動脈は内頸と外頸動脈に分岐するため厳密には脳循環を意味するとは言えないが、このような加齢と共に増大する血流動態の差がめまい発症の一要因であるかもしれない。

最近当教室では、staticな血流測定法であるDSA (digital subtraction angiography)²¹⁾²²⁾と、容易かつ安全でdynamicな測定法である超音波ドップラー法を併用することにより、static, dynamic両面からのより信頼性の高い血流障害の診断を試みている²³⁾。また脳底動脈や前・中・後大脳動脈等の頭蓋内動脈血流測定法であるTranscranial Doppler²⁴⁾²⁵⁾が開発され、血流障害診断のさらに飛躍的な進歩が望まれる。今後超音波ドップラー法はその長所をいかして、めまい患者のスクリーニング検査や補助診断のみならず、治療効果や薬剤の作用部位判定など、幅広い利用が期待される。

おわりに

健常成人51人(男41人, 女10人, 22-64歳)を対象に、超音波ドップラー法によって椎骨・総頸動脈血流を測定し、以下の特徴および問題点を考察した。

1. 測定結果は、椎骨動脈については血流速度 9.4 ± 3.5 cm/s, 血流量 1.6 ± 0.6 ml/s, 血管径 4.6 ± 0.5 mm, 総頸動脈については血流速度 31.5 ± 5.2 cm/s, 血流量 14.0 ± 3.2 ml/s, 血管径 7.5 ± 0.6 mmであった。

2. 左右の椎骨・総頸動脈血流に有意な差はみられなかったが、椎骨動脈血流速度は左がやや速かった。

3. 椎骨・総頸動脈血流速度には性差はみられなかったが、総頸動脈の血流量、血管径および血管径の左右差指数は男性が有意に値が大きかった。

4. 総頸動脈血流速度は加齢と共に有意に遅くなるが、椎骨動脈血流速度は速くなる傾向にあり、血管によって加齢変化に差がみられた。また総頸動脈血管径は加齢と共に太くなるが、

総頸動脈血流量はほとんど加齢変化がなかった。

5. 椎骨・総頸動脈血流の左右差指数には有意な加齢変化はみられなかった。

6. 椎骨動脈血管径の測定は困難な場合が少なく、椎骨動脈の血管径と血流量の測定上の不確実性は、超音波ドップラー法の問題点であると思われた。

7. 以上より超音波ドップラー法による椎骨・総頸動脈血流の測定には、その絶対値よりも左右差や経時変化に意義があるように思われた。

参考文献

- 1) 康 勲, 和田佳郎, 松永 喬, 他: 当科10年間にけるめまい外来受診患者の統計的観察. 耳鼻臨床 補37: 51~58, 1990.
- 2) 津田 守: めまい患者における椎骨動脈血流動態及びその修飾因子について. 日耳鼻 89: 886~898, 1986.
- 3) 神田 直: 椎骨脳底動脈不全とめまい. 循環科学 5: 958~962, 1985.
- 4) 佐野光仁, 松永 亨: 総頸動脈および椎骨動脈血流速度の記録—Doppler 法による—. 耳喉 48: 143~148, 1976.
- 5) 松永 亨, 松永 喬, 内藤 僑, 他: 椎骨動脈血流とめまい・平衡障害についての考察. 日耳鼻 80: 139~144, 1977.
- 6) 松永 亨, 荻野 仁: 椎骨脳底動脈疾患. JOHNS 4: 951~958, 1988.
- 7) 松永 亨: 血流測定装置. 耳喉 53: 853~859, 1981.
- 8) Keller HM, Meier WE and Kumpe DA: Noninvasive angiography for the diagnosis of vertebral artery disease using doppler ultrasound (vertebral artery doppler). Stroke 7: 364~369, 1976.
- 9) 吉村正蔵, 古幡 博, 広田秀美, 他: 内頸・外頸動脈および椎骨動脈血流量の超音波による無侵襲的定量法の開発. 脈管学 22: 191~198, 1982.
- 10) 米田正太郎: 超音波測定法. 総合臨床 32: 2507~2513, 1983.
- 11) 松永 喬, 川本浩康, 内藤 僑, 他: めまい患者と超音波椎骨動脈血流検査法 (Doppler 法)—モデル実験との対比—. 耳鼻臨床 67: 763~774, 1974.
- 12) 稲岡 長: 超音波ドブラ法による脳血管障害の局所診断. 大阪大学医学雑誌 30: 223~239, 1978.
- 13) 金子仁郎, 稲岡 長, 白石純三: 超音波 Doppler 血流検査法の臨床応用. 最新医学 29: 1290~1298, 1974.
- 14) 松永 亨, 後藤和彦: 血流測定装置. 耳鼻咽喉科診療 (堤 昌巳編). 363ノ2-3, 六法出版, 東京, 1980.
- 15) 和田佳郎, 藤田信哉, 康 勲, 他: めまい患者の椎骨・総頸動脈に及ぼす脳循環改善剤の影響—超音波ドップラー法による—. 耳鼻臨床 補37: 78~83, 1990.
- 16) 亀山正邦: 脳底部動脈 Variation の臨床病理学的意義. 神経進歩 5: 758~767, 1961.
- 17) 榎原道治: 頸動脈の硬化度—本邦と欧米との差—. 診断と治療 75: 1760~1762, 1987.
- 18) 吉村正蔵, 小原 誠, 菅野亮一: 脈波と動脈硬化. 日本臨床 38: 3235~3246, 1980.
- 19) 澤井冬樹: 脳萎縮と脳循環 (第2報)—加齢と総頸動脈血流動態—. 奈良医学雑誌 38: 980~989, 1987.
- 20) 後藤 昇: 脳血管の解剖—血管障害の理解のために—. 49頁, メディカルトリビューン, 東京, 1987.
- 21) Inamori T, Machizuka H, Takayasu Y, et al: Intravenous digital subtraction angiography for patients with positional nystagmus. Auris Nasus Larynx (Tokyo) 13: 113~121, 1986.
- 22) 鈴村滋生, 藤田信哉, 松永 喬: めまい疾患とIVDSA 所見—57例の臨床統計より—. 耳鼻臨床 補37: 107~113, 1990.
- 23) 藤田信哉, 和田佳郎, 鈴村滋生, 他: 良性発作性頭位眩暈症における DSA および Doppler 法の所見. 耳鼻臨床 補37: 84~91, 1990.
- 24) 宮崎 学: ドップラー法. Clinical neuroscience 6: 752~753, 1988.
- 25) 吉田 茂: 超音波ドブラ法. 日本臨床 43: 290~298, 1985.

(別刷請求先: 和田佳郎
〒634 奈良県橿原市四条町840
奈良県立医科大学耳鼻咽喉科学教室)