

超音波ドプラー法による脳機能側性の検討

真田 敏・藤川由起子・玉木 涼子

Laterality on the Brain Function Measured by Transcranial Doppler Blood Flowmeter

SATOSHI SANADA, YUKIKO FUJIKAWA and RYOKO TAMAKI

2003

岡山大学教育学部研究集録

第 123 号別刷

Reprinted from the Bulletin of Faculty of Education
Okayama University, No.123, July 2003

超音波ドプラー法による脳機能側性の検討

眞田 敏 ・ 藤川由起子 ・ 玉木 涼子

発達障害の客観的評価法の確立を目指した研究の一環として、健常児・者における課題呈示による脳機能の左右差を経頭蓋的超音波ドプラー血流測定法 (TCD) により評価するとともに、同法の有用性を検討することを目的として本研究を行った。対象は10歳から28歳の計9名の健常児・者で、エディンバラ利き手テストによる検討で全例右利きであった。TCDを用いてWISC-Ⅲの絵画完成カードによる課題呈示前後の血流速度と血管抵抗指数を測定し、比較検討を行った。その結果、中大脳動脈血流速度は9名中6名が右側で、3名が左側でより大きな変化を認め、血管抵抗指数は、9名中4名が右側で、1名が左側でより大きな変化を認めた。エディンバラ利き手指数の結果と左中大脳動脈血流速度や血管抵抗指数の左右差との間に一定の傾向は認められなかった。本研究で用いた課題では、両側の大脳半球機能が同時に活性化されたため、側性に関しての明瞭な結果が得られなかったものと考えられ、今後、より単純な課題の検討が妥当と思われる。

Keywords : cerebral blood flow, transcranial Doppler blood flowmetry, laterality, autism

1. はじめに

ヒトの手、足、目、耳などの身体器官の形態は左右対称であるにも関わらず、機能的には一側に偏って使用することが多い。このような左右いずれかの側に偏って使用するという現象を、Lateralityという。Touwen¹⁾は、Lateralityとは、一対の身体器官を持つ有機体において、一方が他方よりも一定の課題の成績が勝っている現象であると定義しており、この定義では、Lateralityは、左右の対器官の機能的優位性を意味している。しかし、萱村²⁾は、Lateralityは優位性の意味だけでなく、左右どちらか一方を優先的に使用すること、すなわち偏好性の意味も内包していると述べている。Lateralityが最も顕著に現れるのが利き手である。利き手はいつ頃出現するのか、また、どのように決められるのかについて次のような報告がある。利き手の出現する時期について、Gesell and Ames³⁾は、生後16週から10才までの最終的に右利きになった7名の眼前に物品を提示して、左右どちらの手でどのように操作するかを調査し、生後16～20週で左手優位の左右差が見られ、満1歳までに左手優位から両手利き、

そして右手優位へと変化したと述べている。そして、その後もこのような変化が8才まで繰り返され、8歳頃に利き手が最終的に確立するということを報告している。これについて、林⁴⁾は、幼少期には利き手が未分化な時期があるのであり、この時期の子どもは一見両手利きのように行動するが、成人における両手利きとは区別して考える必要があると述べている。またHepperら⁵⁾は、胎児274例について超音波で指吸い行動を観察し、胎児が指を吸ったり口に指を持っていたりする行動が左右どちらの手で行われたかを調査し、胎児272例のうち252例において右手での指吸い行動が多く見られ、残りの22例において左手での指吸い行動が多くみられたと報告した。これについて、八田⁶⁾は、日本人の左利きの割合が4.82%であったことから、胎児における左手での指吸い行動の出現率が、成人の左利きの割合に近似していることと指摘している。

さて、利き手とは一般的に字を書いたり箸を持ったりするような片手で行う動作に対して優位に使用する側の手を意味しており⁷⁾、右手を優位に使用する場合を右利き、左手を優位に使用する場合を左利

き、両方を使用する場合を両手利きというが、これだけでは正確な判断は困難で、利き手を確定する方法が必要となる。その方法として一般的に用いられているのが質問紙法による評価法であり、その中でも広く用いられているのが、1971年にOldfield⁸⁾が作成したエディンバラ利き手テスト (Edinburgh Handedness Inventory) である。この方法は、文字を書く、絵を描く、ボールを投げる、ハサミを使う、歯ブラシを使う、ナイフを持つ、スプーンを使う、ほうきを持つときに上になる手、マッチを擦る、蓋をあける、の10項目の動作を行う際に、どちらの手を好んで用いるかを尋ねるものである。項目ごとに、決して他方の手を使うことがない場合は++、ほとんど使わないという場合は+を記入し、以下の数式でLaterality指数 (Laterality Quotient: LQ) を算出する。

$$LQ = \frac{(\text{右手の+の数}) - (\text{左手の+の数})}{(\text{右手の+の数}) + (\text{左手の+の数})} \times 100$$

このようにして算出されたLQの範囲は-100から100までで、-100は強い左利き、+100は強い右利き、そして0は完全な両利きと判定される。また、利き手と大脳半球の関係については、手の運動は反対側の脳半球によって支配されているので、右利きのヒトでは左半球が、左利きのヒトでは右半球が優位に機能していると考えられる。

Pujol⁹⁾は、機能的磁気共鳴画像法 (functional magnetic resonance imaging: fMRI) を用いて、健常な右利きのヒトと左利きのヒトについて、無声の言語発生課題を行ったときの脳の賦活を調べ、右利きでは96%のヒトが左半球に言語中枢があり、残りの4%では両半球の賦活を示したと報告した。一方、左利きでは76%が左半球に、10%が右半球に側性があり、残りの14%が両半球の賦活を示したと報告した。このことから、ほとんどのヒトが言語機能について左半球に側性があり、左利きにおいても左半球への側性がみられるヒトが多いといえる。

視覚における左右半球の機能差を検出する方法で代表的なものひとつに、半視野瞬間呈示法がある。これは、タキストスコープを用いて、図形や文字などの視覚刺激を左または右半視野内、つまり、前方に向かって座って被験者の視野を真中で左右に分割したときの一方の視野に瞬間的に呈示し、認知成績の機能差を比較する方法である。認知成績を比較する方法としては、認知の正確さを比較する方法と、認知の早さを比較する方法がある。ヒトの視覚伝達経路は、右半視野の視覚情報は左半球に、左半視野の視覚情報は右半球に伝達される。このような半視

野瞬間呈示法を用いて、文字や単語などの言語刺激の認知においては、左半視野に呈示するよりも右半視野に呈示する方が成績がよいこと、つまり左半球優位を示すことが報告されている¹⁰⁾。また、形や図形などの非言語刺激の認知においては、右半視野に提示するよりも左半視野に提示する方が成績がよいことが報告されている¹¹⁾。

聴覚における左右半球の機能差を測定する方法として最も一般的に用いられているのが、両耳分離聴法 (dichotic listening test: DLT) である。これは、1951年に大脳損傷者を対象としてBroadbentら¹²⁾によって開発され、Kimura¹³⁾によって健常者にも広く用いられるようになった。DLTは、左右の耳に同時に異なる聴覚刺激を提示し、各耳に何が聴こえたかの再生を求めるものである。ヒトの聴覚情報は、左右の耳から両側の脳幹を上行し側頭葉聴覚野に伝達されるが、大半は反対側の経路を上行し、一部が同側を上行する。Kimura¹⁴⁾は、DLTのように左右の耳に同時に異なる聴覚刺激を提示した場合、同側の経路は抑制を受け、反対側の経路がもっぱら使用されると述べている。また、左耳に提示された聴覚刺激の方が右耳に提示された聴覚刺激より多く認知されている場合は右半球の機能が優れているとされ、逆に右耳に提示された聴覚刺激の方が左耳に提示された聴覚刺激より多く認知されている場合は左半球の機能が優れていると説明されると述べている。また、Harris¹⁵⁾は、聴覚刺激には、単語や音素、文字などのような言語刺激と、メロディーや和音などのような非言語刺激があり、言語刺激では右耳優位を示し、非言語刺激では左耳優位を示すと述べている。林¹⁶⁾は、DLTを用いて3~12歳の健常児における言語機能の側性化の発達を検討し、右耳反応が左耳反応より有意に多く、3歳で既に右耳優位、つまり、左半球優位であることを報告した。また、1997年にWitelson¹⁷⁾は、Kimura¹³⁾の1961年の報告以降の31件のDLTを用いた実験を要約し、幼児期に83%が有意の右耳優位を認め、学童期では全例が右耳優位を示していたと報告した。また、Kimura¹⁴⁾は、メロディーと数字の認知におけるDLTを行い、左右半球の機能的差異を検討し、メロディーのような非言語刺激では、左耳優位、すなわち右半球優位を示し、数字の認知では右耳優位、すなわち左半球優位を示すことを記載している。

1982年にAaslidら¹⁸⁾によって開発された経頭蓋超音波ドプラー (Transcranial Doppler; TCD) は、中大脳動脈などの頭蓋内主要動脈の血流をリアルタイムに測定することができる。また、非侵襲的かつ簡便であるため、反復的あるいは連続的な血流速度

の変化を瞬時に計測することができる。また、TCDは、主要脳動脈の血流速度を分離測定することができるので、左右半球の機能差を調べることができる利点を有する。そこで、Bruneauら¹⁹⁾は、TCDを用いて、健常児における単純音刺激に対する中大脳動脈の血流速度と抵抗指数 (resistance index; RI) の反応性の測定を行い、左側が右側よりも反応が大きかったことから、本法による研究では、単純音刺激に対して健常児は左半球優位であることが示された。

一方、自閉症や学習障害などの発達障害児における左右半球の機能分化の障害に関する報告もある^{20) 21) 22)}。Colby and Parkison²¹⁾は、健常児と自閉症児について、15項目の動作の観察による利き手評価を行い、健常児では12%が非右利きであったのに対し、自閉症児では、左利き35%、両利き30%、合わせて65%が非右利きであったことを報告した。また、Cornish and McManus²²⁾は、自閉症児、学習障害児および健常児における手の偏好を評価し、健常児では90人中4人(4.4%)が左手の偏好を示したのに対して、自閉症児では35人中8人(23%)、学習障害児では26人中3人(11.5%)が左手の偏好を示したことを報告している。

Prior and Bradshaw²³⁾は、DLTを使用し、言語刺激として単語を用いて自閉症児の言語優位半球を検討し、健常児では全ての被験児が右耳優位、つまり、左半球優位を示したのに対し、自閉症児では19名のうち7名は左耳優位、つまり、右半球優位を示し、5名は左右差がなかったことを報告した。また、林¹⁶⁾も、2音節の有意義語を用いたDLTの研究を、健常児と自閉症児について行い、右耳優位を示したものが、健常児では30名中24名だったのに対し、自閉症児では20名中4名と、自閉症児は健常児に比べて右耳優位を示すものが非常に少ないことを報告している。また、Blackstock²⁴⁾は、自閉症児が言語音や楽器音の聴き取りに左右どちらの耳を使うかについて健常児と比較し、健常児では言語音で右耳優位、楽器音で左耳優位が見られたものが多かったのに対し、自閉症児では言語音も楽器音も左耳優位であったことを報告し、自閉症児がどちらのタイプの音でも主に左耳で聴いていたことから、自閉症児は外的刺激を右半球で処理する傾向にあると考察している。

DLTを用いたこれらの報告から、自閉症児は言語刺激に対しても、楽器音などの非言語刺激に対しても、側性が右半球にあると推測されている。

TCDを用いた研究では、Bruneauら¹⁹⁾が、12人の健常児、10人の精神遅滞児および12人の自閉症児において、単純音刺激に対する中大脳動脈の血流

速度とRIの測定を行い、自閉症児は健常児とは逆に、刺激を与えている時に安静時よりも血流速度が減少しRIが増加したことを報告し、自閉症における左右半球の機能分化の障害説を支持するものであると考察している。

そこで、発達障害の客観的評価法の確立を目指した研究の一環として、健常児・者における課題呈示による脳機能の左右差をTCDにより評価するとともに同法の有用性を検討することを目的として本研究を行った。

II. 研究対象および方法

10歳から28歳の計9名の健常児・者を対象とした。9名全員に、エディンバラ利き手テストを用いて利き手調査を行った。LQは、78.9~100.0の範囲で全員が右利きであった。方法はMULTI-DOP P (DWL社製) 経頭蓋的超音波ドプラー血流測定装置を使用し、2 MHzのプロープを側頭部より耳介前方約1 cmのところで頭蓋に対しほぼ垂直に向け、測定深度50~60mmで中大脳動脈血流速度の測定を行った。血流波形は一度ビデオテープに録画し、測定終了後にビデオを見ながら、1画面ごとのRIと血流速度のMEAN値を記録し、課題呈示による変化を検討した。課題はWISC-IIIで用いられている絵画完成カードを用いた。課題の説明は測定前に行い、課題のカードに描かれている絵画の不足部分を無言で指差すように指示した。また、sweep speedは9秒に設定し、安静時は7画面すなわち63秒間、課題提示時は2画面すなわち18秒間とした。

III. 結果

9名の結果について、中大脳動脈血流速度のMEAN値における安静時から課題提示時への変化率を表1に、RIにおける安静時から課題提示時への変化を表2に示した。MEAN値では、安静時と課題提示時の変化率を算出し、RIでは、安静時と課題提示時の平均値を算出した。安静時から課題提示時への変化率を比較してみると、MEAN値では表1に示したように、右側が4.50%~13.63%、左側が1.42%~13.02%の範囲で増加し、9名中6名が右中大脳動脈で、3名が左中大脳動脈でより大きな変化を認めた。また、RIでは、9名中4名が右中大脳動脈で、1名が左中大脳動脈で、より大きな変化を認めた。残りの4名については、左右とも同程度の変化を認めた。

エディンバラ利き手指数の結果と、左中大脳動脈血流速度のMEAN値やRIの左右差との間に一定の傾向は認められなかった。

表1 中大脳動脈血流速度 (MEAN値) の変化率

名前	年齢	性別	利き手指数	MEAN値 (%)		
				Right		Left
M.A.	28	F	R (100.0)	13.63	>	1.42
S.O.	24	F	R (100.0)	4.76	>	3.27
Y.N.	20	F	R (88.9)	5.60	>	4.76
M.T.	10	F	R (88.9)	11.50	>	4.52
S.Y.	21	M	R (100.0)	7.00	<	9.95
M.S.	23	F	R (100.0)	4.50	<	5.33
M.M.	22	M	R (88.9)	8.67	>	6.87
H.M.	22	M	R (78.9)	5.22	>	4.76
M.T.	21	M	R (100.0)	5.51	<	13.02

表2 Resistance index: RI

名前	年齢	性別	利き手指数	Right		Left	
				安静	→ 賦活	安静	→ 賦活
M.A.	28	F	R (100.0)	0.51	→ 0.47	>	0.44 → 0.44
S.O.	24	F	R (100.0)	0.59	→ 0.54	>	0.52 → 0.50
Y.N.	20	F	R (88.9)	0.54	→ 0.54	=	0.53 → 0.53
M.T.	10	F	R (88.9)	0.56	→ 0.51	>	0.55 → 0.53
S.Y.	21	M	R (100.0)	0.52	→ 0.51	=	0.50 → 0.49
M.S.	23	F	R (100.0)	0.47	→ 0.47	<	0.50 → 0.46
M.M.	22	M	R (88.9)	0.50	→ 0.49	=	0.52 → 0.51
H.M.	22	M	R (78.9)	0.58	→ 0.57	>	0.56 → 0.56
M.T.	21	M	R (100.0)	0.52	→ 0.49	=	0.53 → 0.50

IV. 考察

本研究におけるTCDによる測定では、頭皮上のプローブから深度50～60mmの部位で中大脳動脈血流速度を測定したが、同部における中大脳動脈の内径は健常な状態では変化することはないと考えられ、中大脳動脈領域における血流量の増加、すなわち同領域内の大脳の活動性の上昇を反映したものと考えられる²⁵⁾。

今回の検討では、9名中6名が右側優位、残りの3名が左側優位を示す成績であり、全員が右利きの対象であったにもかかわらず、優位側が一定でなかった。これは、本成績で課題呈示による中大脳動脈血流速度のMEAN値の上昇が両側共に認められたことから、課題として用いたWISC-IIIの絵画完成カードが、大脳半球の両側の機能を同時に活性化させたため、側性に関しての明瞭な結果が得られなかったものと考えられる。単純音を刺激として用いたBruneauら¹⁹⁾の研究では、健常児で左中大脳動脈においてより大きいMEAN値の増加とRIの減少が報

告されていることから、脳の側性の検討には本研究で用いた広範囲で複合的な脳機能の賦活効果が推測されるような課題は適当ではないものと思われる。今後、側性の客観的評価法の確立のためにはより単純な課題の検討が妥当と思われた。

文献

- 1) Touwen CL (1972) Laterality and Dominance. *Developmental Medicine Child Neurology* 14. 747-755.
- 2) 萱村俊哉 (1997) 発達の神経心理学的評価—学習障害・MBDの診断のために—。多賀出版
- 3) Gessell A, Ames L (1947) The development of handedness. *Journal of Genetic Psychology* 70. 155-175.
- 4) 林雅次 (1987) 自閉症児の言語障害と半球機能の一側化。山崎晃資, 栗田広(編)「自閉症児の研究と展望」東京大学出版会。145-162
- 5) Hepper PG, Schahidullah S, White R (1991) Handedness in the human fetus. *Neuropsychologia* 29. 1107-1111.

- 6) 八田武志 (1996) 左ききの神経心理学. 医歯薬出版株式会社
- 7) 小林久男, 佐野ゆかり (1996) 精神遅滞児の利き手に関する研究—性差, 遅滞の程度, 親の利き手との関係について—. 特殊教育学研究 34. 9-17.
- 8) Oldfield RC (1971) The assessment and analysis of handedness: The Edinburgh Inventory. *Neuropsychologia* 9. 97-113.
- 9) Pujol J, Deus J (1999) Cerebral lateralization of language in normal left-handed people studied by functional MRI. *American Academy of Neurology* 1038-1043.
- 10) Obrzut JE, Hynd GW, Zellner RD (1983) Attentional Deficit in Learning-Disabled Children: Evidence from Visual Half-Field Asymmetries. *Brain and Cognition* 2. 89-101.
- 11) Kimura D. (1966) Dual function asymmetry of the brain in visual perception. *Neuropsychologia* 4. 275-285.
- 12) Broadbent DE (1952) Failures of attention in selective listening. *J Experimental Psychology* 44. 428-433.
- 13) Kimura D. (1961) Cerebral dominance and the perception of the verbal stimuli. *Canadian J Psychology* 15. 166-171.
- 14) Kimura D. (1967) Functional asymmetry of the brain in dichotic listening. *Cortex* 3. 163-178.
- 15) Harris AJ (1979) Lateral dominance and reading disability. *J Learning Disabilities* 12. 337-343.
- 16) 林雅次 (1982) 言語の一側化の発達—正常児の両耳分離能検査による検討—. 脳と発達 14. 205-221.
- 17) Witelson SF (1977) Early hemisphere specialization and interhemisphere plasticity. An empirical and theoretical review. In Segalowitz SJ, Gruber FA eds. *Language development and Neurological theory*. Academic Press 213-287.
- 18) Aaslid R, Markwalder TM, Nornes H (1982) Noninvasive transcranial Doppler ultrasound recording of flow velocity in basal cerebral arteries. *J Neurosurg* 57. 769-774.
- 19) Bruneau N, Dourneau M, Garreau B, et al (1992) Blood flow response to auditory stimulation in normal, mentally retarded, and autistic children; a preliminary transcranial Doppler ultrasonographic study of the middle cerebral arteries. *Boil Psychiatry* 32. 691-699.
- 20) Small JG (1975) EEG and neurophysiological studies of early infantile autism. *Biological Psychiatry* 10. 385-397.
- 21) Colby KM, Parkison C (1977) Handedness in autistic children. *J Autism and Childhood Schizophrenia* 7. 3-9.
- 22) Cornish KM, McManus IC (1966) Hand Preference and Hand Skill in Children with Autism. *J Autism Developmental Disorders* 26. 597-609.
- 23) Prior MR, Bradshaw JL (1979) Hemisphere functioning in autistic children. *Cortex* 15. 73-81.
- 24) Blackstock EG (1978) Cerebral asymmetry and the development of early infantile autism. *Journal of Autism and Childhood Schizophrenia* 8. 339-353.
- 25) 佐藤正浩 (1993) 視覚刺激時の鳥距溝動脈血流速度とその発達的变化に対する研究. 脳と発達 25. 309-314.