

新生児の脳循環代謝評価における近赤外光の応用

日下 隆

要 旨：新生児医療において，早産児における酸素毒性を回避するための脳酸素代謝量を考慮した酸素投与の指標作りや，低酸素性虚血性脳症などの中枢神経系障害を有する病的新生児の脳循環・酸素代謝量の病態別の特徴を見出し，低体温療法などの治療指標を設定することは重要である。生体に安全な近赤外光が新生児の脳血流量，脳血液量，脳内Hb酸素飽和度や脳機能の評価に利用され，これからの新生児医療での応用に期待が持たれる。(J Jpn Coll Angiol, 2009, 49: 163-168)

Key words: near-infrared spectroscopy, time-resolved spectroscopy, cerebral blood flow, cerebral blood volume, cerebral hemoglobin oxygen saturation

新生児における脳循環・酸素代謝に関する near-infrared spectroscopyの応用

早産児の管理上，慢性肺疾患や未熟児網膜症などの活性酸素による酸素毒性を回避するために，脳酸素代謝量を考慮した酸素投与の指標作りは重要である¹⁾。また低酸素性虚血性脳症などの中枢神経系障害を有する病的新生児管理における，脳循環・酸素代謝量の病態別の特徴を見出し，低体温療法などの治療指標を設定することも重要課題である。しかし未熟児・新生児医療において，神経学的予後の改善に役立つ，ベッドサイドで脳循環・酸素代謝量を測定し，適切な循環管理，酸素投与量を設定するモニタリングは一般臨床で行われていない。MRI，PET，超音波などの画像診断装置の高精度化は，胎児・新生児の中枢神経系の発達や神経の解剖学，生理的理解をより詳細にしてきた。特にMRIやPETは脳機能や脳循環・代謝の発達の变化を観察するために利用が期待されるが，新生児集中治療室(neonatal intensive care unit: NICU)内でのリアルタイムな測定が不可能である。

近年，生体に安全な近赤外光を用いたNIRS(near-infrared spectroscopy：近赤外線分光法)が脳循環，酸素化状態や脳機能の評価に利用され，特に新生児医療での応用が発展してきた。本稿では，新生児の脳血流量，

脳血液量や脳内Hb酸素飽和度の測定と，その歴史的背景や特徴を概説する。

新生児の脳血流量について

Table 1にこれまでの新生児を対象とした，さまざまな脳血流量の測定結果をまとめる。これらの方法は，Kety-Schmidt法，plethysmography法，¹³³Xe-clearance法，PETやNIRSを利用し，Fick's principleを用いた方法である。新生児における最初の定量的な脳血流量測定は，1945年に発表されたnitrous oxideをトレーサーにしたKety-Schmidt法であり²⁾，その後Garfunkelら³⁾が，血管内カテーテルを留置して3例の脳障害児を測定した結果は15～23mL/100g/minであった。より最近の，正産児の重症な新生児仮死の測定報告では，特に予後不良児で脳血流量が増加していることが見出された⁴⁾。しかしこれらの測定方法の困難さにより，早産児への応用は困難であると考えられていたが，Crossら⁵⁾が頸静脈を圧迫して脳血液量の変化を惹起し，plethysmographyを用いて頭囲の変化を測ることで脳血流量を測定する方法を報告し，Milligan⁶⁾が早産児においては脳血流量の自動調節能の破綻が，脳室内出血の原因であることを報告した。この後に¹³³Xe-clearance法は動脈，静脈内投与，吸入によるさまざまな測定報告がなされ，特にGreisen⁷⁾は早産児は正産児より脳血流量が低値であることを報告している。

Table 1 新生児の脳血流量測定の見例

| 測定方法 | 在胎週数 | 測定症例数 | 測定日齢 | 平均CBF値(範囲)(mL/100g/min) | 報告者 |
|--------------------------|-------|-------|------|-------------------------|------------------------------------|
| Plethysmography | 正期産児 | 16 | 2-8 | 40 (22-59) | Cross et al, 1979 ⁵⁾ |
| ¹³³ Xe (IA) | 29-39 | 19 | 0 | 30 (12-64) | Lou et al, 1979 ³⁵⁾ |
| ¹³³ Xe (Inh) | 26-32 | 15 | 0-1 | 38 (12-70) | Ment et al, 1981 ³⁶⁾ |
| ¹³³ Xe (IV) | 29-34 | 15 | >3 | 42 | Younkin et al, 1982 ³⁷⁾ |
| ¹³³ Xe (IV) | 28-33 | 42 | 0-5 | 16 (6-37) | Greisen, 1986 ⁷⁾ |
| NIRS (HbO ₂) | 25-44 | 9 | 1-10 | 18 (12-33) | Edwards et al, 1988 ¹⁰⁾ |
| PET | 26-36 | 16 | 6-39 | 12 (5-23) | Altman et al, 1988 ⁹⁾ |
| | 正期産児 | 14 | 2-39 | 30 (9-73) | |
| NIRS (HbO ₂) | 24-34 | 30 | 0 | 13 (5-33) | Tysczuk et al, 1998 ²¹⁾ |
| NIRS (ICG) | 24-38 | 15 | 0-79 | 16 (10-21) | Kusaka et al, 2001 ¹⁸⁾ |

IA: intra arterial, IV: intravenous, Inh: inhalation, PET: positron emission tomography, NIRS: near-infrared spectroscopy
 NIRT: near infrared topography, HbO₂: oxyhemoglobin as a tracer, ICG: indocyanine green as a tracer
 (Kusaka et al, 2001¹⁸⁾より改変)

また、PETによる脳血流量の測定では、脳内出血の存在する新生児では出血部位から離れた部分でも著しい脳血流量の低下を認めることや⁸⁾、脳機能の発達に伴う脳血流量の増加が報告されている⁹⁾。

NIRSを応用した非侵襲的な脳血流量の測定方法は、酸化HbをトレーサーにしたEdwardsら^{10, 11)}の報告が最初である。この測定法は吸入酸素濃度を上昇させ、急激な動脈血酸素濃度の上昇を惹起させ、それに伴う動脈血Hb酸素飽和度をパルスオキシメーターで測定すると同時に、NIRSを用いて脳内の酸化Hbの上昇を測定し、Fick's principleを用いて、脳血流量を算出する方法である。この方法には仮定が必要であり、1)測定中は脳血液量や酸素消費量は一定である。2)測定時間は増加した酸化Hbが静脈相に認められるまでの間である。3)吸入酸素濃度が100%の症例では測定ができない。この方法の妥当性は、¹³³Xe-clearance法との比較により検討され、その有用性が報告されている^{12, 13)}。更に酸化Hbの代わりに、肝機能検査に使用されるindocyanine green(ICG)を用いた脳血流の測定例が報告されている^{14, 15)}。ICGは近赤外部に強い光吸収を持つ物質であり、血管内に投与後に速やかに肝臓へ取り込まれ、その増加減少を近赤光を用いて生体測定することが容易である。定量的測定としてRobertsonら¹⁶⁾は、本測定法を新生児の開胸手術中に応用し、血管内と脳でのICG濃度変化を同時測定して脳血流量を評価した報告を行い、更にICGと酸化Hbをトレーサーにした測定結果が良好な相関性を持つことを報告し

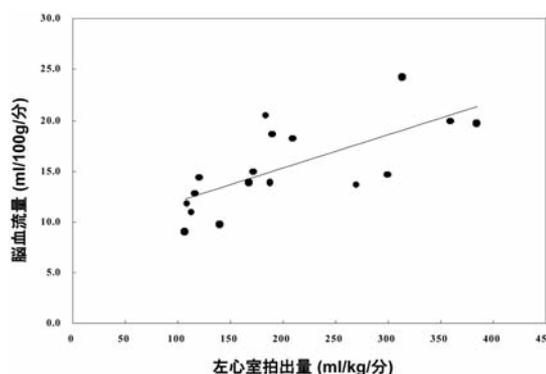


Figure 1 新生児における左心拍出量と脳血流量の関係 (文献20を改変)

ている¹⁷⁾。ICGを用いる方法は、動脈血酸素含量の変化を惹起せずに測定できる点が利点である。またわれわれは、動脈血内のICG濃度をパルスオキシメーターの原理を応用したpulse dye densitometryを利用し、同時に脳内ICG濃度をNIR topographyを利用して測定して、局所的脳血流量を定量的に測定する方法を開発し、その局所的分布の相違を報告した^{18, 19)}。また本測定法は同時に左心拍出量も同時計測が可能であり、新生児において左心拍出量と脳血流量に正の相関が認められることを報告した²⁰⁾ (Fig. 1)。

新生児の脳血流量の基準値に関しては、超音波での脳障害を検出されない6名の新生児では 17 ± 2 mL/100g/min

(平均 ± 標準偏差)⁹⁾、26名の早産児では $13 \pm 6 \text{ mL}/100\text{g}/\text{min}$ ²¹⁾、13例の正常発達を示した新生児では $17 \pm 13 \text{ mL}/100\text{g}/\text{min}$ であった。その局所的分布の相違は、前頭葉が後頭葉より高値である報告がなされている²²⁾。またMRIを使用した測定では、早産児で出生予定日に測定した場合と正常産児で生後すぐに測定した場合では、それぞれの脳基底核は 39 と $30 \text{ mL}/100\text{g}/\text{min}$ 、灰白質は 19 と $16 \text{ mL}/100\text{g}/\text{min}$ 、白質は 15 と $10 \text{ mL}/100\text{g}/\text{min}$ であり、その局所的差異と、生後の発達の変化が示されている²³⁾。

新生児の脳血液量について

これまでにNIRSを用いた脳血液量の測定に関する報告としては、Brazyらが新生児仮死児での報告をしたが²⁴⁾、脳血液量の変化だけで定量的測定はなされていなかった。その後、酸素化HbやICGをトレーサーにして変化させ測定する方法が報告された²⁵⁻²⁷⁾。酸素化Hb濃度の増加を惹起させる目的で、吸入酸素濃度を増加させて動脈血を測定した報告では脳血液量は $2.3 \sim 3.0 \text{ mL}/100\text{g}$ であり、 PCO_2 を変化させ測定した報告では $3.7 \text{ mL}/100\text{g}$ であった。またICGを用いて早産児を対象とした測定では、 $1.7 \pm 0.8 \text{ mL}/100\text{g}$ であった。またnear-infrared time-resolved spectroscopy (TRS)を用いたわれわれの報告では²⁸⁾、新生児の正常値は $2.3 \pm 0.6 \text{ mL}/100\text{g}$ であり、その値は出生後の修正在胎週数が進むほど高値であることが見出された (Fig. 2)。これら新生児の値は、成人でのSPECTで測定した $4.8 \pm 0.4 \text{ mL}/100\text{g}$ ²⁹⁾、PETで測定した $4.7 \pm 1.1 \text{ mL}/100 \text{ g}$ ³⁰⁾より低値であり、成長とともに脳血液量が増加することが示されている。また新生児貧血においては、輸血後に脳血液量が減少することを小谷野らは報告しており³¹⁾、貧血時には、酸素運搬調節が脳循環の調節によってなされていることを示唆している。

TRSは、光拡散方程式の解を用いて、生体の光散乱係数や光吸収係数を測定可能であるため、酸素化HbやICG等の光吸収物質の変化を惹起せず、光吸収係数を用いて脳血液量や脳内Hb酸素飽和度の定量値が算出できるユニークな方法である。また、光散乱係数は組織の微細構造、例えば神経細胞数、髄鞘化、浮腫等の状態により変化すると考えられ、酸素化状態が変化しても変化しないが³²⁾、修正在胎週数が大きくなる程に光散乱係数が大きくなることが示されており²⁸⁾、今後その生理的意義の確立に期待が持たれる。

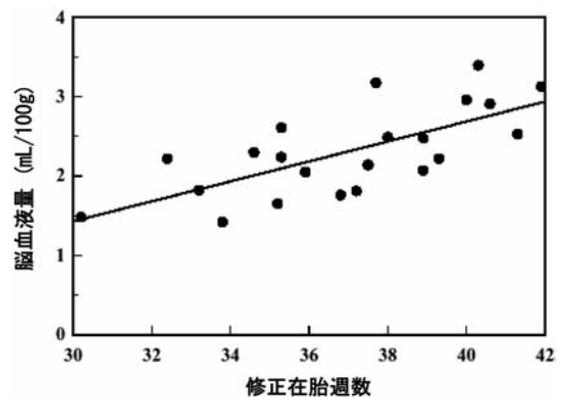


Figure 2 新生児における修正在胎週数と脳血液量の発達の関係 (文献28を改変)

脳内Hb酸素飽和度について

従来までHb酸素飽和度は、動脈血または静脈血に限られた血管内に存在する血液のHbの酸素飽和度が使用されてきたが、NIRSの測定が応用され、頭部を均一な組織と仮定した脳内Hb酸素飽和度という概念が提唱されている³³⁾。この方法は、脳全体の動脈、細動脈、毛細血管、静脈を含む血管内のHbの酸素飽和度を混合して算出する方法で、酸素を供給する動脈血Hb酸素飽和度、脳酸素消費を反映する静脈血Hb酸素飽和度、および動脈と静脈の解剖学的存在比率が決定因子となる。われわれは新生仔豚を対象にして、動脈血および上矢状静脈血Hb酸素飽和度とTRSでの脳内Hb酸素飽和度を同時計測した検討から、21%酸素での呼吸管理下では脳内Hb酸素飽和度値に対する動脈と静脈の寄与率がおのおの34%と66%であることを報告している³²⁾。

これまでの新生児における、脳内Hb酸素飽和度のNIRSによる測定結果をTable 2に示す。Ijichiらの報告では²⁸⁾、新生児の基準値は $70.0 \pm 4.6\%$ であり、この結果は他の報告と類似している。さらに動脈血Hb酸素飽和度は修正在胎週数が異なっても相違ないにもかかわらず、脳内Hb酸素飽和度は修正在胎週数が大きくなる程低値であった (Fig. 3)。この理由として、早産児は正常産児と比較し脳酸素代謝量が低値であるため静脈血Hb酸素飽和度が高値であることと、静脈の動脈に対する存在比率が在胎週数が大きくなる程に減少するためと考えられる。

また新生児仮死児で予後を検討した結果、生後24時

Table 2 NIRSを利用した新生児を対象とした脳内Hb酸素飽和度の報告例

| 測定方法 | 測定症例数 | 測定週数 | 平均ScO ₂ 値(%) | 測定症例 | 報告者 |
|------|-------|----------|-------------------------|---------|-------------------------------------|
| FSS* | 1 | | 63 | | Cooper et al, 1996 ³⁸⁾ |
| FSS | 15 | 38 ± 2 | 68 | 正期産児 | Kusaka et al, 1998 ³⁹⁾ |
| FSS | 7 | 36-41 | 69 | | Isobe et al, 2000 ⁴⁰⁾ |
| FSS | 26 | 37-41 | 66 | 自然分娩児 | Isobe et al, 2002 ⁴¹⁾ |
| | | | 57 | 帝王切開出生時 | |
| CW | 40 | <32 | 67 | 早産児 | Dani et al, 2000 ⁴²⁾ |
| FD | 20 | (0カ月-6歳) | 53 | 先天性心疾患児 | Watzman et al, 2000 ⁴³⁾ |
| SRS | 15 | <31 | 66 | 早産児 | Naulaers et al, 2002 ⁴⁴⁾ |
| TRS | 22 | 30-42 | 70 | | Ijichi et al, 2005 ²⁸⁾ |

FSS: full-spectral spectroscopy, *: water reference method, CW: continuous wave spectroscopy, FD: frequency domain spectroscopy, SRS: spatially-resolved spectroscopy, TRS: time-resolved spectroscopy (Ijichi et al, 2005²⁸⁾より改変)

間以降に脳内Hb酸素飽和度が高値を示した症例では予後が不良であることが報告されており、遅発性エネルギー障害時における脳酸素代謝量の減少を示していると考えられる³⁴⁾。この現象に関してわれわれは、新生仔豚を用いた低酸素虚血モデルを用いた検討において、遅発性脳内エネルギー代謝障害時には³¹P-magnetic resonance spectroscopyで測定した[PCr]/[Pi]と脳内Hb酸素飽和度は負の関係を示し酸素代謝量の低下が示されたが、障害程度が高度な場合は[PCr]/[Pi]と脳内Hb酸素飽和度は正の関係を示し脳浮腫を主体とした脳循環障害が引き起こされ、この病態が更なる虚血障害を引き起こす可能性を報告した⁴⁵⁾。また、重症の新生児仮死児において生後48~72時間で脳内Hb酸素飽和度と同時に脳血液量の上昇を認め、この上昇程度が高いほど予後が不良であることを、中村らは報告している⁴⁶⁾。この脳血液量の上昇は脳血流調節の破綻、脳内Hb酸素飽和度の上昇は遅発性エネルギー障害による脳酸素代謝量の減少によると考えられ、今後は詳細な予後との関係や、治療によるそのパラメーターの変動を検討する予定である。

本研究の一部は、文部科学省科学研究補助金(基盤研究B課題番号17390307, 基盤研究C課題番号19591281)の助成によって行われた。

文 献

1) 大西鐘壽, 伊藤 進, 磯部健一 他: 酸素代謝の適応生理. 小児科, 2000, **41**: 2265-2289.

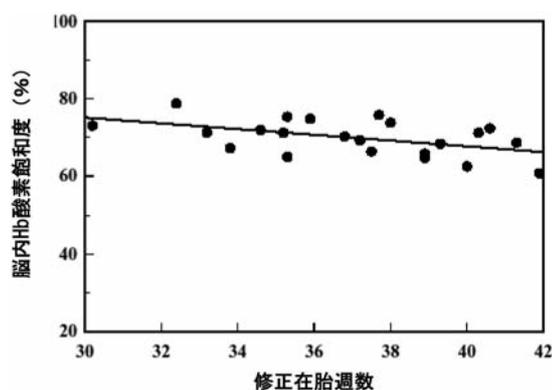


Figure 3 新生児における修正在胎週数と脳内Hb酸素飽和度の発達の関係(文献28を改変)

- 2) Kety SS, Schmidt CF: The determination of cerebral blood flow in man by the use of nitrous oxide in low concentrations. *Am J Physiol*, 1945, **143**: 53-66.
- 3) Garfunkel JM, Baird HW 3rd, Ziegler J: The relationship of oxygen consumption of cerebral functional activity. *J Pediatr*, 1954, **44**: 64-72.
- 4) Frewen TC, Kisson N, Kronick J et al: Cerebral blood flow, cross-brain oxygen extraction, and fontanelle pressure after hypoxic-ischemic injury in newborn infants. *J Pediatr*, 1991, **118**: 265-271.
- 5) Cross KW, Dear PR, Hathorn MK et al: An estimation of intracranial blood flow in new-born infant. *J Physiol*, 1979, **289**: 329-345.
- 6) Milligan DW: Failure of autoregulation and intraventricular

- haemorrhage in preterm infants. *Lancet*, 1980, **1**: 896–898.
- 7) Greisen G: Cerebral blood flow in preterm infants during the first week of life. *Acta Paediatr Scand*, 1986, **75**: 43–51.
 - 8) Volpe JJ, Herscovitch P, Perlman JM et al: Positron emission tomography in the newborn: extensive impairment of regional cerebral blood flow with intraventricular hemorrhage and hemorrhagic intracerebral involvement. *Pediatrics*, 1983, **72**: 589–601.
 - 9) Altman DI, Powers WJ, Perlman JM et al: Cerebral blood flow requirement for brain viability in newborn infants is lower than in adults. *Ann Neurol*, 1988, **24**: 218–226.
 - 10) Edwards AD, Wyatt JS, Richardson C et al: Cotside measurement of cerebral blood flow in ill newborn infants by near infrared spectroscopy. *Lancet*, 1988, **2**: 770–771.
 - 11) Edwards AD, Richardson C, van der Zee P et al: Measurement of hemoglobin flow and blood flow by near-infrared spectroscopy. *J Appl Physiol*, 1993, **75**: 1884–1889.
 - 12) Skov L, Pryds O, Greisen G: Estimating cerebral blood flow in newborn infants: comparison of near infrared spectroscopy and ¹³³Xe clearance. *Pediatr Res*, 1991, **30**: 570–573.
 - 13) Bucher HU, Edwards AD, Lipp AE et al: Comparison between near infrared spectroscopy and ¹³³Xenon clearance for estimation of cerebral blood flow in critically ill preterm infants. *Pediatr Res*, 1993, **33**: 56–60.
 - 14) Colacino JM, Grubb B, Jöbsis FF: Infra-red technique for cerebral blood flow: comparison with ¹³³Xenon clearance. *Neurol Res*, 1981, **3**: 17–31.
 - 15) Ferrari M, Wilson DA, Hanley DF et al: Near infrared determined cerebral transit time and oxy- and deoxyhemoglobin relationships during hemorrhagic hypotension in the dog. *Adv Exp Med Biol*, 1989, **248**: 55–62.
 - 16) Roberts I, Fallon P, Kirkham FJ et al: Estimation of cerebral blood flow with near infrared spectroscopy and indocyanine green. *Lancet*, 1993, **342**: 1425.
 - 17) Patel J, Marks K, Roberts I et al: Measurement of cerebral blood flow in newborn infants using near infrared spectroscopy with indocyanine green. *Pediatr Res*, 1998, **43**: 34–39.
 - 18) Kusaka T, Isobe K, Nagano K et al: Estimation of regional cerebral blood flow distribution in infants by near-infrared topography using indocyanine green. *Neuroimage*, 2001, **13**: 944–952.
 - 19) Kusaka T, Isobe K, Nagano K et al: Estimation of regional cerebral blood flow distribution in infants by multichannel near-infrared spectroscopy with indocyanine green. *Proc SPIE*, 2001, **4250**: 301–305.
 - 20) Kusaka T, Okubo K, Nagano K et al: Cerebral distribution of cardiac output in newborn infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2005, **90**: F77–78.
 - 21) Tysczuk L, Meek J, Elwell C et al: Cerebral blood flow is independent of mean arterial blood pressure in preterm infants undergoing intensive care. *Pediatrics*, 1998, **102**: 337–341.
 - 22) Børch K, Greisen G: Blood flow distribution in the normal human preterm brain. *Pediatr Res*, 1998, **43**: 28–33.
 - 23) Miranda MJ, Olofsson K, Sidaros K: Noninvasive measurements of regional cerebral perfusion in preterm and term neonates by magnetic resonance arterial spin labeling. *Pediatr Res*, 2006, **60**: 359–363.
 - 24) Brazy JE, Lewis DV, Mitnick MH et al: Noninvasive monitoring of cerebral oxygenation in preterm infants: preliminary observations. *Pediatrics*, 1985, **75**: 217–225.
 - 25) Wyatt JS, Cope M, Delpy DT et al: Quantitation of cerebral blood volume in human infants by near-infrared spectroscopy. *J Appl Physiol*, 1990, **68**: 1086–1091.
 - 26) Brun NC, Greisen G: Cerebrovascular responses to carbon dioxide as detected by near-infrared spectrophotometry: comparison of three different measures. *Pediatr Res*, 1994, **36**: 20–24.
 - 27) Leung TS, Aladangady N, Elwell CE et al: A new method for the measurement of cerebral blood volume and total circulating blood volume using near infrared spatially resolved spectroscopy and indocyanine green: application and validation in neonates. *Pediatr Res*, 2004, **55**: 134–141.
 - 28) Ijichi S, Kusaka T, Isobe K et al: Developmental changes of optical properties in neonates determined by near-infrared time-resolved spectroscopy. *Pediatr Res*, 2005, **58**: 568–573.
 - 29) Sakai F, Nakazawa K, Tazaki Y et al: Regional cerebral blood volume and hematocrit measured in normal human volunteers by single-photon emission computed tomography. *J Cereb Blood Flow Metab*, 1985, **5**: 207–213.
 - 30) Powers WJ, Grubb RL Jr, Darriet D et al: Cerebral blood flow and cerebral metabolic rate of oxygen requirements for cerebral function and viability in humans. *J Cereb Blood Flow Metab*, 1985, **5**: 600–608.
 - 31) 小谷野耕佑, 中村信嗣, 小谷野薫 他: 新生児貧血に対する輸血療法時の脳血液量の変化(抄録). *日本未熟児新生児学会雑誌*, 2007, **19**: 446.
 - 32) Ijichi S, Kusaka T, Isobe K et al: Quantification of cerebral hemoglobin as a function of oxygenation using near-infrared time-resolved spectroscopy in a piglet model of hypoxia. *J Biomed Opt*, 2005, **10**: 024026.
 - 33) Nioka S, Chance B, Smith DS et al: Cerebral energy metabolism and oxygen state during hypoxia in neonate and adult dogs. *Pediatr Res*, 1990, **28**: 54–62.

- 34) Toet MC, Lemmers PM, van Schelven LJ et al: Cerebral oxygenation and electrical activity after birth asphyxia: their relation to outcome. *Pediatrics*, 2006, **117**: 333–339.
- 35) Lou HC, Lassen NA, Friis-Hansen B: Impaired autoregulation of cerebral blood flow in the distressed newborn infant. *J Pediatr*, 1979, **94**: 118–121.
- 36) Ment LR, Ehrenkranz RA, Lange RC et al: Alterations in cerebral blood flow in preterm infants with intraventricular hemorrhage. *Pediatrics*, 1981, **68**: 763–769.
- 37) Younkin DP, Reivich M, Jaggi J et al: Noninvasive method of estimating human newborn regional cerebral blood flow. *J Cereb Blood Flow Metab*, 1982, **2**: 415–420.
- 38) Cooper CE, Elwell CE, Meek JH et al: The noninvasive measurement of absolute cerebral deoxyhemoglobin concentration and mean optical path length in the neonatal brain by second derivative near infrared spectroscopy. *Pediatr Res*, 1996, **39**: 32–38.
- 39) Kusaka T, Isobe K, Kawada K et al: Postnatal changes in the cerebral oxygenation in normal and asphyxiated neonates. *Proc SPIE Int Soc Opt Eng*, 1998, **3194**: 92–102.
- 40) Isobe K, Kusaka T, Fujikawa Y et al: Changes in cerebral hemoglobin concentration and oxygen saturation immediately after birth in the human neonate using full-spectrum near infrared spectroscopy. *J Biomed Opt*, 2000, **5**: 283–286.
- 41) Isobe K, Kusaka T, Fujikawa Y et al: Measurement of cerebral oxygenation in neonates after vaginal delivery and cesarean section using full-spectrum near infrared spectroscopy. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol*, 2002, **132**: 133–138.
- 42) Dani C, Bertini G, Reali MF et al: Brain hemodynamic changes in preterm infants after maintenance dose caffeine and aminophylline treatment. *Biol Neonate*, 2000, **78**: 27–32.
- 43) Watzman HM, Kurth CD, Montenegro LM et al: Arterial and venous contributions to near-infrared cerebral oximetry. *Anesthesiology*, 2000, **93**: 947–953.
- 44) Naulaers G, Morren G, Van Huffel S et al: Cerebral tissue oxygenation index in very premature infants. *Arch Dis Child Fetal Neonatal Ed*, 2002, **87**: F189–192.
- 45) Kusaka T, Ueno M, Miki T et al: Relationship between cerebral oxygenation and phosphorylation potential during secondary energy failure in hypoxic-ischemic newborn piglets. *Pediatr Res*, 2009, **65**: 317–322.
- 46) 中村信嗣, 小谷野耕佑, 大橋育子 他: 低酸素性虚血性脳症における脳循環・代謝状態の経時的変動第3報(抄録). *日本未熟児新生児学会雑誌*, 2007, **19**: 447.

Optical Cerebral Imaging in Infants

Takashi Kusaka

Maternal Perinatal Center, Faculty of Medicine, Kagawa University, Kagawa, Japan

Key words: near-infrared spectroscopy, time-resolved spectroscopy, cerebral blood flow, cerebral blood volume, cerebral hemoglobin oxygen saturation

Assessment of cerebral hemodynamics, oxygen delivery and utilization is very important in evaluating the effectiveness of several therapies as well as preventing oxygen toxicity in seriously ill infants. Recently, we have demonstrated that near-infrared spectroscopy (NIRS) can be use for measurements of cerebral blood flow, cerebral blood volume and cerebral Hb oxygenation. These non-invasive NIRS devices can be used for infant at the bedside. (*J Jpn Coll Angiol*, 2009, **49**: 163–168)

Online publication July 24, 2009
脈管学 Vol. 49, 2009