

- encephalopathy of childhood: a novel form of acute encephalopathy prevalent in Japan and Taiwan. *Brain Dev* 19: 81-92, 1997
- Mizuguchi M, Yamanouchi H, Ichimiya T, et al: Acute encephalopathy associated with influenza and other viral infections. *Acta Neurol Scand*. 115 (4 Suppl): 45-56, 2007
- Mirza D, Hastings M, Reyes J, et al: Organ donation from children with meningitis. *Pediatr Infect Dis J* 22: 475, 2003
- 日本神経感染症学会細菌性髄膜炎治療指針作成委員会編: 日本神経感染症学会診療ガイドライン「細菌性髄膜炎診療ガイドライン」. *神経治療* 24:3-64, 2007
- Paigi JM, Lopez-Navidad A, Lloveras J, et al: Organ donors with adequately treated bacterial meningitis may be suitable for successful transplantation. *Transplant Proc* 32:75-7, 2000
- Pryds O: Control of cerebral circulation in the high-risk neonate. *Ann Neurol* 30: 321-9, 1991
- Roland EH, Poskitt K, Rodriguez E, et al: Perinatal hypoxic-ischemic thalamic injury: clinical features and neuroimaging. *Ann Neurol* 44: 161-6, 1998
- Rorke LB: Anatomical features of the developing brain implicated in pathogenesis of hypoxic-ischemic injury. *Brain Pathol* 2: 211-21, 1992
- Roulet Perez E, Maeder P, Cotting J, et al: Acute fatal parainfectious cerebellar swelling in two children. A rare or an overlooked situation? *Neuropediatrics* 24: 346-51, 1993
- Stawarn D, Lewison L, Marks J, et al: Brain death in pediatric intensive care unit: incidence, primary diagnosis, and the clinical occurrence of Turner's triad. *Crit Care Med* 22: 1301-5, 1994
- Takashima S, Ichinohe A, Itoh M: Pathogenesis and prevention of pontosubicular necrosis. *Neuroembryology* 3: 42-6, 2004
- Taylor GA: Effect of germinal matrix hemorrhage on terminal vein position and patency. *Pediatr Radiol* 25: S37-S40, 1995
- Tekkök SB, Goldberg MP: AMPA/kainate receptor activation mediates hypoxic oligodendrocyte death and axonal injury in cerebral white matter. *J Neurosci* 21: 4237-48, 2001
- Tunkel AR, Scheld WM: Pathogenesis and pathophysiology of bacterial meningitis. *Clin Microbiol Rev* 6: 118-36, 1993
- Volpe JJ: Neurological outcome of prematurity. *Arch Neurol* 55: 297-300, 1998
- Yamashima T, Kashihara K, Ikeda K, et al: Three phases of cerebral arteriography in meningitis: vasospasm and vasodilation followed by organic stenosis. *Neurosurgery* 16: 546-53, 1985

第6 小児脳死判定基準の周辺課題  
河野 理恵、宮坂 勝之、阪井 裕一、武下 浩

研究要旨 現場で脳死判定を行うということは、検査項目の順に従って各検査を的確、確実に実施することに尽き、その行為は全く医学的なことである。しかし、家族にどのような説明を行い、いつの脳死の診断をはじめめるかについては、医師（医師団）の総合的判断にまつところが大きい。この場合、家族への対応は極めて重要である。それは本来臓器移植とは無関係のことで終末期での対応となる。しかし、日本の場合、臓器提供者となるときに限って法的脳死判定の適応となる。現在、論議となっているのは、15歳未満の子どもの意思表示であり、何歳以上で本人の承諾を必要とするかが議論されている。発達心理学的に学童期で死を理解するようになるとされているが、死の理解とドナーとなってよいということとは、非常に大きな差があり、学校教育での脳死臓器移植にかかわる研究もあり、中学生で臓器提供を希望するものもあるというが、現実にはやってみないと分からない。子供のことを最もよく知っている親（親権者）の同意しかないと思われる。脳死を人の死としない限り脳死判定基準をめぐる周辺課題は複雑になる一方である。

1 死の概念理解

今日までの心理学において、子どもを対象とした「死の概念理解」に関する研究は、生命に対する畏敬の念の教育のため、発達に伴う生と死の概念理解を解明するため、重篤な病気をもつ子どもたちとのコミュニケーション方法を探索するため、少年犯罪の生起要因を探究するためなどの理由から多角的に行われている。それでは、子どもが大人と同じように「死」を理解する年齢は何歳なのだろうか。また、その理解の発達はどのような過程をたどるのであろうか。ここでは、国内外において実施されている子どもに対する「死の概念理解」の研究を文献的に概観しながら、子どもが「死」を理解する年齢、及びその発達過程を把握することを試みる。最後に、子どもを対象とした死の概念理解の研究における「死」の内容について触れることにする。

1-1 国外文献から

古くは Nagy (1948) による子どもを対象とした死の概念の発達に関する研究が有名であり、多くの研究で引用されている。その研究では、ハンガリー人の3~13歳の子ども378人に「死とは何か」を文章、絵、面接などで表現させた結果から、子どもにおける死の概念の発達過程を次のような3段階で説明している。まず、5歳以下の子どもは死を取り返しのつかない不可逆的なものとは受け止めていない。次に、5~9歳の子どもは死を偶然の事件と捉えている。そして最終段階の9歳以上になると、子どもは大人と同じように、死は自然の法則によって生起するものであり、不可避であると考えられる傾向に至る。そして、生命あるものはいずれ活動が停止することを理解し、現実的な死の概念を有するとしている。

また、直接的な死の概念研究ではないが、発達心理学の父と呼ばれる Piaget (1926) は、無生物にも生命や意識、感覚などを認

めるアニミズムという子ども特有の生命観の観点から、生きているものについての概念の発達過程を4段階で述べている。幼少の4~5歳はすべてのものに生命を認める時期、次に、6~7歳は動くものすべてに生命を認める時期、8~11歳は自己の力で動くものに対して生命を認める時期、最後に12歳以上は動物だけに生命を認める時期というものである。生命観の概念は死の概念と表裏をなしていると考えられるため、この研究は子どもにおける死の概念理解の解釈にも十分な示唆をもたらしているだろう。さらにこの結果は、“保存の概念”などの実験結果を基に Piaget が提唱している子どもの認知発達段階（①感覚運動期（2歳まで）、②前操作期（2~7歳）、③具体的操作期（7~11歳）、④形式的操作期（12歳以上））と酷似しており、Koocher（1974）が指摘するように、子どもにおける生と死の概念理解は、子どもの論理的考え方、世界の捉え方などの認知発達段階に比例することも推察される。

加えて、Speece ら（1984）は、1934年から50年間に発表された死の概念に関する文献のレビューを行い、7歳までの多くの子どもが“体の機能停止（例：死んだら人は動かない）”、“死の不可逆性（例：死んだら生き返らない）”、“死の普遍性（例：誰にでも死は訪れる）”という死の概念を理解するようであるとしている。

このように、子どもにおける死の概念理解に関する外国の研究では、子どもたちはおよそ7~9歳で死を大人と同じレベルで理解しているように見受けられる。確かに国外の研究ではそのような年齢で「死」を理解するとされているようだが、生命や倫

理の問題を扱う際には国ごとの宗教観、文化的背景、経済状態などを踏まえることが重要であろう。なぜなら、子どもたちが「死」を見聞したり、直接誰かの「死」を経験したりする際には、彼らの生育している環境の独自性が多分に影響を与えていると推測されるからである。そのため、日本の子どもたちが「死」をどのように理解しているのか明らかにするためには、日本の子どもたちを対象に実施された「死の概念理解」の研究を把握する必要がある。

## 1-2 国内文献から

近年、日本で行われた子どもにおける「死の概念理解」の研究を概観する。仲村（1994）は、3歳~13歳までの205名の子どもたちに対して個別に面接を行い、「“死”や“死ぬ”という言葉から思い浮かべる言葉を教えてください。」「誰でも人は死にますか」など9つの質問を中心に子どもの死の概念理解についての検討を行った。その結果、3~5歳の子どもたちは、まだ生と死が未分化であり、死の意味そのものが分かっていない段階であるが、6~8歳では、ほぼ死の現実的意味を理解していると結論付けている。また、9~11歳になると「誰でも死ぬ」という“死の普遍性”について全ての子どもが理解していることを明らかにした。

また、佐藤ら（1999）は、凶悪少年事件の増加、家族構成の変化を発端に、現代の社会環境で生きる子どもの生命や死に関する意識及び認識を明らかにする研究を行っている。小学1年生から3年生までの児童629名にアンケート調査を実施した結果、「動物や人間はいつか死ぬと思うか」という“死の普遍性”を問う質問において、小

学2、3年生（8、9歳）ではほぼ80%が「動物も自分もいつかは死ぬ」と認識していることが明らかになった。また、この“死の普遍性”は、人やペットとの死別体験を経験している子どもの方が高い認識率を示していた。佐藤らはこの研究でのすべての結果を踏まえ、子どもにおける死生観の教育は小学3、4年（9、10歳）が適切であると指摘している。

この他、岡田（1990）は小児ターミナルケアの側面から、Piaget（1926）の認知的発達理論に基づき小学1～6年生69名を対象に死の概念の発達研究を実施した。その結果、「死んだ人間はお腹が空くか」「死んだ人間は目を開ければ見えるか」などの“死の不動性”を問う項目において、前操作期段階（4～7歳）ですでに7割の子どもたちがこれを理解していることを明らかにした。同様に、「死んでもまた生き返ることができるか」などの“死の不可逆性”を問う項目においても、前操作期段階ですでに7割の子どもたちがこれを理解していると述べている。さらに、「人間には、死ぬ人と死なない人がいるか」などの“死の普遍性”を問う項目において、前操作期段階（4～7歳）では5割、具体的操作期（7～11歳）では約8割の子どもたちから「はい」という回答が得られている。これらの結果を踏まえ、学童期における小児の死の概念発達は全体として認知的発達に伴っており、前操作期段階から具体的操作段階で発達を遂げていることが明らかにされている。概して、具体的操作期になれば、人間の死という概念が確立しているのではないかと推察される。

津野ら（2002）は、子どもにおけるいの

ちの教育の観点から、小学校3～6年生90名に対して、生と死の概念の認識とその発達過程の検討を行った。当初、津野らは3年生ではまだ死ということがよくわかっていないのではないかという疑問をもって研究に臨んだ。しかしながら、3年生で死やいのちについて真剣に考えようとする姿が見られており、いのちの授業への学習意欲も高かったという結果が得られた。そのため、3年生（9歳）は死を学ぶのに適した年齢であるとみなしている。

加えて、すべての生命に死が訪れるという“死の普遍性”と死ねば生き返ることはできないという“死の非可逆性”について子どもの概念発達を検討した高木ら（2005）は、小学1年生から中学2年生までの3719名を対象として研究を行った。その結果から、死の普遍性と絶対性の理解は7歳で深まり、9歳以降で認識が確立すると結論づけている。

このような日本における子どもを対象とした死の概念についての研究を藤井（2002）は“体の機能停止”“死の不可逆性”“死の普遍性”“死の原因”“死後観”という構成要素ごとにまとめ、報告している。その結果、日本においては、ほぼ7歳頃になると死の概念を理解すると解釈され、国外の文献をもとに、重篤な病気の子どもたちは同年齢の健康な子どもよりも年少で死を理解することも記載している。

これに関連して、国外と国内の子どもにおける死の概念の研究を概観した高柳ら（2003）は、10歳頃から大人とほぼ同じ死の概念をもつようになるとみなしている。

このように日本における子どもを対象とした死の概念研究を概観していくと、およ

そ7歳くらいから死の理解が始まり、10歳前後で大人と同じような概念に達すると解釈される。しかしながら、35名の幼児を対象にした竹中ら(2004)の研究では、“死の不動性”は4歳7ヶ月から、“死の不可逆性”は3歳9ヶ月から、“死の普遍性”は4歳3ヶ月から理解し始めているという結果もあり、かなり幼少の子どもでも「死」についての理解は始まっている可能性も指摘されている。また、病気で入院している子どもたちの中には、3歳10ヶ月という年少児でさえも死の不安を口にすることがあるという。また、仲村(1994)が述べるように、家族や身近な人の死を体験した子どもたちは、死について考える比率が高くなるようである。そのため、子どもが死の概念を理解する一般的な年齢はあるものの、その子どもがおかれた状況によって、死の概念理解の年齢が年少になる場合があることも同時に認識しておく必要がある。

### 1-3 子どもが脳死を理解できるか

これまで述べてきた国外、国内の子どもに対する「死の概念理解」の研究のほとんどで扱われてきた「死」の内容は、病死や事故死のようないわゆる「一般的な死」の形態を想定していたと考えられる。なぜなら、そのような死は家族やペットに生じる死の形であり、テレビやゲームなどで見聞できる身近な死の形だからである。

しかしながら、「死」には様々な形態がある。その特殊な死の形態の1つは「脳死」であろう。この「脳死」は、脳の全機能が失われているものの、人工呼吸器で呼吸がひいては循環が維持されている状態である。このような状態はかなり特別なものである

ため、これまでの子どもにおける「死の概念理解」の研究で取りあげられることはなかった。大人でも脳死の正確な理解は容易でないから、学童期の子どもが理解できるとは思えない。子どもに死とは何かを理解させ、いのちの大切さを教育する試みは大切である。

中学校3年の総合学習で脳死臓器移植に関する教育を行っている星井ら(2007)によると、講演後のアンケートに対し87%が臓器移植に賛成し、42%が臓器提供を行うとし、62%が脳死を死とすると回答したという。もっとも中学校教科書にはドナーカードの記載があるので移植を全く知らなかったわけではない。これらの数値は健康な子どもに対する授業の後なので、そのまま実際の移植に結び付けることはできないが、この種の研究者は死の学校教育の重要性を指摘している。脳死臓器移植に関する子ども(小中学生)や保護者の意識調査を行った報告をみると、脳死臓器移植に関する死の教育は学校、家庭、地域社会が関与すべきで、この場合、子どもの死に対する不安や恐怖心に配慮し、生きることの意味や希望・夢といったポジティブな意思や感情を育てることを目標に含める必要があるとしている(山崎 2001)。わが国で比較的なおざりにされてきたいのちや生きることの大切さを、死を通して教育することは、脳死臓器移植の理解に役立つであろう。

### 1-4 子どもの意思表示

小児の脳死臓器移植に関連して、ドナーとなる子どもの意思表示が問題となっている。日本小児科学会の調査によると、子どもの死の理解は大人が想像するよりも低い

年齢で可能であると思われる。このことに関係して子どものドナーの場合も、6～12歳なら本人の意思を確認すべきであるとする論議がなされた（森岡、杉本の論文インターネット）。そのためには死の教育が重要であると述べられている。しかし、これは健康な子どもに対して脳死にいたったときに他の子どもを助けるために臓器を提供するかどうかの話である。子どもに対して積極的に「脳死」という言葉を提示した上で「死の概念理解」ができるか否かの問題であろう。

子どもの権利条約にみるように、小児の自由な意思を尊重することが基本的重要性を持つことに誰も異論はない。しかし、何歳の小児で、死や臓器移植を理解できるかについては直接的にせよ間接的にせよ極めて難しい問題である。年齢区分よりも家庭環境、教育環境、成熟度が大きな決定因子になると思われる。発達心理学では、7歳までの大部分の小児が死の三大要素である不可逆性、機能消失性、普遍性を理解しているといわれるが意志力となると問題はもっと広い視座を必要とするであろう。

点滴や静脈穿刺の説明とは違って、今、健康な小・中学生に脳死になった場合にドナーとなるかどうかを移植のことまで説明して同意を得ることなどは不可能である。それではどうすればよいか、親権者の同意による以外にないと思われる。成人ですらドナーが少ないので、子どもの場合はさらに困難を伴うことは当然である。

## 2 子どもの終末期医療と脳死判定

### 2-1 救急医療における「終末期」

終末期とは突然発症した重篤な疾病や不慮の事故などに対して適切な医療の継続にもかかわらず死が間近に迫っている状態で、救急医療の現場では以下1)～4)のいずれかのような状況を指す（日本救急医学会2007）。

なお、以下1)～4)の判断については、主治医と主治医以外の複数の医師（以下、「複数の医師」という）により客観的になされる必要がある。

すなわち、死が間近に迫っている状態で、

- 1) 不可逆的な全脳機能不全（脳死診断後や脳血流停止の確認後なども含む）と診断された場合
- 2) 生命が新たに開始された人工的な装置に依存し、生命維持に必須な臓器の機能不全が不可逆的であり、移植などの代替手段もない場合
- 3) その時点で行われている治療に加えて、さらに行うべき治療方法がなく、現状の治療を継続しても数日以内に死亡することが予測される場合
- 4) 悪性疾患や回復不可能な疾病の末期であることが、積極的な治療の開始後に判明した場合

脳死は1)の状態では終末期にあるといえる。しかし、問題は長期脳死例であり、且長期化の傾向をたどると、比較的安定した状態となり、肺炎などで急性に全身状態が悪化しない限り終末期とはならない。日本医師会が定義する終末期の類型のいずれにも当てはめることも難しくなる（日本医師会2007）。

### 2-2 小児集中治療の立場から

小児集中治療とは、重症の小児患者に対

して呼吸循環管理を中心とする全身管理を行いながら、病院の総力を結集して患者の診療と家族のケアを行う医療である。ここで留意すべきは、小児集中治療には一般小児集中治療と新生児集中治療と二つあることで、両者の間には診療体制に若干の差がある。その差の原因は、新生児集中治療が未熟性への対応を旗頭にしているところにあると思われる。日本では新生児集中治療が著しく発展してきたのに対して、小児集中治療はまだ揺籃期にある。厚生省研究班小児基準では12週未満を除外しているので新生児は問題にならないが、一般小児集中治療が整備されていないことと、小児脳死の研究班が全国的に小児脳死の症例を調査したときに症例の蒐集が容易でなかったこととは無縁でないと考えられる。

不幸にして小児が現在実施可能ないかなる治療をもってしても回復不能な重症脳障害から脳死状態に至った場合、小児集中治療に従事する医療者がまず最初に行うべきは、脳死の診断を行い、集中治療を継続することが患者や家族の利益になるのか否かを自らに問うことであろう。呼吸・循環管理が大きく進歩した現在、集中治療の現場において日常頻繁に遭遇する「どこまで治療を行うべきか？治療により患者の得られるものは何で、失うものは何か？」という問題を討議すべきである。このことは成人の脳死の場合も同じであるが、小児集中治療では高度先進医療の側面とともに患者、家族の精神面のケアが重要視され、“High Tech, High Touch”といわれていることを脳死判定者はもちろんのこと、広く移植にかかわる医療者すべてが認識しておく必要がある。

国立小児病院小児ICUは1994年10月に設立され、年間300人弱の入院があり死亡率は7.3%である。昨年(2006)の死亡時の状況をみると、手術直後に死亡した(手術死)3名を除く14名の死亡患者のうち、死亡時に心肺蘇生を行った患者はわずかに2名で、他の12名は延命医療を行わない(withholding)か、または呼吸循環の維持を中止した(withdrawal)症例である。この間の看取りについては家族の同意の下にきわめて慎重に行われている。小児集中治療では、このような基本的姿勢に立って小児の脳死臓器移植を論じる必要がある(阪井1992, 1999)。

小児脳死には成人と同様に二つの問題が付きまどっている。一つは脳死の診断方法であり、生後12月未満では特に観察時間を長くとるか、補助検査を必須とするガイドラインが多いように思われる。他の一つは“自然”に呼吸が停止することを不可能にしている集中治療において、医療側や家族が死は何時かを決めるのを助けるという重要な哲学的問題である(Wolfgang 2001)。ここでは臓器移植は一義的ではない。ただ、救命救急領域における終末期医療の中で一つのオプションとして提示し、高率の臓器提供が行われているという事実がある(鹿野2006)。このようなことが小児で行えるかどうかは判らない。医療側と家族との間にゆるぎない信頼関係がなくては不可能である。家族が将来性のある最愛の子どもの脳死を死として受け入れ難いのは当然で、医師、看護師にとっても若い命であるが故に成人の場合よりさらに受入れ難いものがある(Wolfgang 2001)。

引用文献

- 藤井裕治: 子どもが考える「死の概念」の発達. ターミナルケア 12: 88-92, 2002
- 星井桜子, 森田研, 荒木義則: 脳死と臓器移植についての学校教育が子どもの意思決定に与える影響. 日本小児科学会雑誌 111:365, 2007
- 鹿野恒, 山崎圭, 佐藤朝之, 遠藤晃生, 佐藤真澄, 牧瀬博, 大宮かおり, 菊池雅美, 小野美和子, 中山久枝: 救命救急領域における終末期医療のなかでのオプション提示. 脳死・脳蘇生 18:74, 2006
- Koocher GP: Talking with children about death. Am J Orthopsychiatry 44 (3): 404-11, 1974
- Nagy M: The child's theories concerning death. Journal of Genetic Psychology 73: 3-27, 1948
- 仲村照子: 子どもの死の概念. 発達心理学研究 5: 61-71, 1994
- 日本医師会「第X 次生命倫理懇談会」: 終末期医療に関するガイドライン. 2007
- 日本救急医学会「救急医療における終末期医療のあり方に関する特別委員会」: 救急医療における終末期医療に関する提言 (ガイドライン). 2007
- 岡田洋子: 学童期にある小児の死の概念発達に関わる要因の検討. 天使女子短期大学紀要. 11: 21-36, 1990
- Piaget J, 大伴茂 (訳): 児童の世界観. 同文書院, 東京, 1926
- 阪井裕一, 宮坂勝之: Pediatric ICU の必要性. 小児科診療 55: 578-83, 1992
- 阪井裕一: 小児ICUと救急医療システム. 日本医師会雑誌 122: 1357-60, 1999
- 佐藤比登美, 齊藤小雪: 現代の子どもの死の意識に関する研究. 小児保健研究 58: 515-526, 1999
- Speece M. W, & Brent S. B: Children's understanding of death: A review of three components of a death concept. Child Development 55: 1671-86, 1984
- 高木慶子, 近藤靖宏, 原実男, 宮先啓子, 山下文夫, 西本義之, 赤澤正人, 伊藤博, 伊藤玲子, 服部洋介, 古田晴彦, 松本信愛: 子ども成長に寄与する, 「いのち」の教育のあり方 (子どもの死生観についての発達段階に関する意識調査) ヒューマンケア実践研究支援事業研究成果報告書 2005, 109-132.
- 高柳奈, 辻尾佳澄: 犯罪によってきょうだいで死別したこどもの人間的成長をどう支援するか. 関西学院大学社会学部紀要 95: 255-68, 2003
- 竹中和子, 藤田アヤ, 尾前優子: 幼児の死の概念. 看護学統合研究 5: 24-30, 2004
- 津野博美, 石橋尚子: 子ども生と死の認識といのちの教育. 子ども社会研究 8: 23-39, 2002
- Wolfgang W: 小児における脳死の概念と生理学的な診断 (Concept and physiological Diagnosis of brain death in children). 小児の脳神経 26:301, 2001
- 山崎裕二: 三鷹市・武蔵野市の小中学生及び保護者の脳死・臓器移植に関する意識調査. 日本赤十字武蔵野短期大学紀要 14:107-119, 2001

## 第7章 脳死判定基準の検査項目

石田 和慶、村川 敏介、武下 浩

脳死判定基準について世界的に広く容認されている考えは、本報告書で述べたような脳死といわれる状態が臨床的に存在するという事実である。その状態は臨床的に行い得る神経所見と無呼吸テストで診断できる。脳幹反射は基準によって差があるが、それぞれの重要度には差がない。可能な限り施行すべきであるが、もし、顔面外傷などで実施が不可能なときは補助検査を併用する。問題になるのは、無呼吸テストの施行が難しいときで、検査の理論的背景は全く違うが脳幹を含む脳循環検査をする以外にないであろう。わが国では法で定められた検査を施行しなければならないが、脳幹機能検査の一部が欠けるときの対応ができないところに問題がある。補助検査を含めた医師（医師団）の総合診断による判定ができないことは改善が望まれる。世界的にみても不思議がられる点で、外国からみると日本の医師は信頼されていないのではないかという意見が多い。

### 1 深昏睡

不可逆性昏睡はすべての基準に共通している。しかし昏睡（coma）とあるだけで内容の明確でない基準もある。Japan coma scaleで300、Glasgow coma scaleで3の確認は最も重要である。小児についてはJapan coma scaleの小児版があるが、「深昏睡」については成人と同じなので、特に変更の必要はない。

昏睡あるいは無反応性の確認には疼痛刺激を加えて四肢の運動反応がないことを確認する。顔面の知覚と顔面の運動反応については、角膜反射は綿棒先で刺激して角膜反射、下顎反射の消失を確認し、上眼窩縁、爪床、側頭下顎関節レベルの結節に強い圧力を加えて顔をしかめる反射の出現の有無をみる必要がある。これらで反応があつてはならない。運動反応を検査するとき、Lazarus sign で代表されるような自発運動や誘引と思われるものがあつて起こる運動がみられることがある。これらは後述するが脊髄由来である。また、筋弛緩薬が使用されていると運動反応は減退する。下顎

反射はかつて厚生省基準を作成するときに予備的調査の項目に入れてあつたが、使用される頻度が少なかったので削除された経緯がある。

昏睡に関して、厚生省判定基準では12週未満を除外しているの、検査上の問題はほとんどないと思われる。しかし、新生児、乳児期前半の小児で、皮膚知覚、視覚、聴覚刺激（刺激は月齢の高いものと同様でよい）を行って、完全な無受容性、無反応性の確認を行うことは容易でない場合がある（Ashwal 2006）。もし、少しでも診断に不安があれば、脳波、脳循環検査が必要である。この点については厚生省研究班小児基準では脳波を必須としている。

### 2 脳幹反射

脳幹機能の指標として反射は重要である。厚生省基準では、対光反射、角膜反射、毛様体脊髄反射、眼球頭反射、前庭反射、咽頭反射、咳反射の7つ、が脳幹反射として決められている。小児基準でも成人と同様の反射があげられているが、米国基準（Task Force）では吸啜反射と乳探し反射も入って

いる(表7-1)。脳幹反射のいずれかを省略しても脳死判定に誤りがないか否かという議論は、全ての検査ができる症例であれば意味がない。脳幹反射のうち5つは受容器あるいは効果器に眼球が関与している。これらの反射の中樞は、頭側から尾側に向かって系統的に検査できる。対光、角膜、眼球頭及び(あるいは)前庭、咽頭及び(あるいは)咳反射は、多くの国の判定基準に含まれている(武下2001)。適当な脳循環検査が活用できることが望まれる。新生児、乳児前期では体が小さいための困難性、使用中の器具(保育器を含む)・モニタ類によるアクセス障害など、反射の受容器刺激、効果器観察を困難にする要因が多い。

脳幹反射検査には眼球の関与が大きいだけに、それらが不可能なときには脳死判定が難しくなる。顔面外傷(特に強い浮腫)で、眼球、角膜の損傷で瞳孔、眼球偏位の観察、角膜の刺激が困難なときは、検査が難しく不可能なときがある。現在の基準では、このような時は脳死判定を見合わせるようになってきている。また、鼓膜の損傷があって前庭反射ができないとき、たとえ片側であっても脳死判定はできない。これらのことは日本の判定基準がユニークと評される理由の一つである。このような場合に採用できる代替検査についても種々検討されたが、結論が得られないままである。

## 2-1 瞳孔と対光反射

厚生省基準では瞳孔径が4mm以上となっている。この値は調査結果から導かれた値で、瞳孔径の記述をしている判定基準では4mm以上になっているものが多い。厚生省研

## 7-1 米國小児脳死判定基準 (Task Force, 1987年)

- 
- A. 病歴：昏睡の原因を明らかにし、可逆的病態を除外
- B. 判定基準：
1. 昏睡と無呼吸
  2. 脳幹機能の消失
    - a. 瞳孔中心固定あるいは完全散大
    - b. 眼球頭反射、前庭反射の消失
    - c. 眼球運動の消失及び角膜、咽頭、咳、吸啜、捕捉反射の消失
    - d. 自発呼吸の消失(無呼吸テスト必要)
  3. 低体温、低血圧は除く
  4. 筋緊張低下および自発・誘発運動の消失ただし脊髄レベルでの反応を除く
  5. 決められた観察時間を通して変化がない
- C. 年齢による観察時間：
1. 7日～2ヶ月：48時間において脳死判定と脳波を2回
  2. 2ヶ月～1歳：24時間において脳死判定と脳波を2回、あるいは第1回目の脳死判定で平坦脳波を示すか、放射性同位元素を用いた脳循環検査で脳血流停止を認める場合、あるいは両者を満たす場合
  3. 1歳以上：12時間～24時間において脳死判定を2回行う；脳波と脳循環検査は随意
- 

究班小児基準でも瞳孔径は4mm以上とされている。瞳孔の形は円形、楕円形、不整形などいろいろである。虹彩径の小さい小児で瞳孔径の散大傾向を成人と同じにすることに疑問を持つ向きもある。しかし、未熟児、新生児の虹彩でも径は7-8mmあり、成熟児において生後12週を経過すると成人とほとんど変わらない。もちろん、眼裂は成長につれて長くなる。したがって、12週以上であれば瞳孔径を成人と同じように扱ってよいであろう(村松、山本 私信)

厚生省研究班小児基準では12週未満が除外されているので問題にならないが、新生児では対光反射の発達は不完全である。保育器の中では瞳孔の反応を見るのも容易でないときがある。角膜外傷、網膜出血、顔面浮腫、眼瞼癒合などがあると瞳孔径の変化が捉えがたい(Ashwal 2006)。

## 2-2 角膜反射

角膜反射は乳児で最も容易に行える重要な反射であるが、信頼性に欠けることがある。角膜の表面が脱水、擦過傷などで角膜表面の知覚障害をきたしているときがある。

## 2-3 毛様体脊髄反射

この反射は、神経検査を重視する点で先駆的であったミネソタ基準が採用している。反射経路に脊髄の関与が大であるところから項目として入れるのに反対の意見があり、米国においてもミネソタ基準以外では必要とされていない。ちなみに、毛様体背髄反射の求心路は、頸を強くつねる - 脊髄感覚神経、中枢は a) 三叉神経脊髄路核（延髄～脊髄）、b) 第8頸髄～第2胸髄の側角に局在する交感神経ニューロン（毛様体脊髄中枢：Budge中枢）、遠心路は頸部交感神経節→内頸動脈に沿って上行→半月神経節第1枝、鼻毛様神経、長毛様神経、効果器は瞳孔散大筋が収縮して散瞳とされている（「脳死判定上の疑義解釈に関する研究班」脳死判定上の疑義解釈 2000）。本来の刺激部位は頸部なので三叉神経領域ではないが、脊髄が関与している三叉神経核をどうみるかで意見が分かれるのであろう。現在までに行われた検証で他の脳幹反射が消失していて毛様体脊髄反射が残存していた例はなかったが、臨床的に脳死と診断されるが、判定項目のうち毛様体脊髄反射のみが陽性であった2例が報告されている（池田 1999）。このように、有意義な結果を得がたい検査なので、本反射は判定項目としては不必要である。

## 2-4 眼球頭反射と前庭反射

現在の法的脳死判定では通用しないが、眼球頭反射ができないとき、たとえば、脊椎の損傷を伴う場合には頭部の回転は禁忌なので実施はできないので、両側の前庭反射でよいとする考えがある。その理由は、眼球頭反射と前庭反射は同じ部位の脳幹機能を反映しており、前庭反射の受容器に対する刺激は眼球頭反射の場合よりも強いとされている。したがって、前庭反射だけでよいとする基準もある。一方、眼球頭反射が「陽性」であれば前庭反射をする必要はない（武下 2007）。前庭反射で用いる冷水は氷水でなくてはならない。耳鼻科領域で行われる20℃、冷温交互刺激検査とは異なるので注意が必要である。

## 2-5 咽頭・咳反射

吸引用カテーテルで繰り返し気管、気管支粘膜に刺激を加える。このとき、陰圧をかけて分泌物を吸引する必要はない。法的脳死判定では、明らかな咳様運動が認められなくても機械的刺激に応じて胸郭などの動きがみられるときは、咳反射ありと判定することになっているが、脊髄反射の場合もあるので時間をおいて再検する。

## 2-6 吸啜反射・乳探し反射

吸啜反射と乳探し反射は生後3月までに消失するという意見と生後1年間を通じて存在するという意見とがある（榊原 1997）。したがって月齢によってオプションとして行うことが望ましいが、元来、この二つの反射は脳障害児では、容易に消失するといわれている（村松 私信）。

### 3 自発呼吸の消失

#### 3-1 厳格な無呼吸テスト

無呼吸テストは少なくとも先進諸国では共通しており、血液ガス分析を必須としている。しかし、Wijdicks (2002) が収集した80ヶ国の資料をみると、一定のPaCO<sub>2</sub>レベルを要求している国は39カ国で、人工呼吸をはずしてみる国は20カ国である。その他の国では判定基準あるいはガイドラインに明確に記載されていない。かつて厚生省判定基準の原文では人工呼吸器を外すだけで血液ガス分析を必須としていない。血液ガス分析装置の普及とともに具体的にPaCO<sub>2</sub>の値を決めた経緯を考えると、その国の医療水準が大きく影響していることがわかる。しかし、記載が明確でない国の中には脳波、脳循環検査を必須とする国もあるので、無呼吸テストの代わりにこの種の検査をする意図があるとも読める。もしそうであれば本質的な問題であり、無呼吸テストを共通の項目には入れられない。

#### 3-2 無呼吸テストの留意点

厚生省基準では、無呼吸テストを行うときの前提条件として望ましい体温、血圧、血液ガス値が示されているが、発症前から肺機能障害がある場合や発症後の肺合併症のため、適切な呼吸管理にもかかわらず望ましい値を得ることが難しい症例がある。このようなときに麻酔科医の知識と経験が必要である。テスト中の低酸素症、低血圧、不整脈に備えて、血圧、心電図、パルスオキシメータを装着し状態の変化に備える。テストを行うか否かは総合的判断が必要で、もし著しい低血圧、不整脈などがみられた

ときはテストを中止する。中止するときは直前に採血して血液ガス分析を行う (武下1999)

問題は小児基準における到達すべきPaCO<sub>2</sub>レベルである。一般には60mmHgでよいとされているが、乳幼児ではさらに80mmHgあるいはそれ以上に高くしなければならないという報告もある。その根拠は60mmHgより明らかに高い値で自発呼吸が出現したという症例報告による。症例としては二次性病変、後頭蓋窩病変、年少幼児、乳児が主なので、このような症例では要注意である (Pollack 2007, Valdis 1998, Brill 2000, Truog 2003)。

無呼吸テストが行えないような状態で、呼吸中枢の反応性をみる臨床的方法はないが、脳幹部を含む脳循環検査で血流がないことを確認して代用することも考えられる。

#### 3-3 法的脳死判定にみる望ましい条件に適合しなかった症例

松田ら (2008) は脳死例からの臓器移植を行った脳死症例のうち、公開された例で行われた44回の無呼吸テストを検討している。全例とも重大な合併症をみることなく無呼吸テストを終え臓器提供が行われているが、2例でPaO<sub>2</sub> 80mmHg以下となり、うち1例はテスト中PaO<sub>2</sub>が一時的に25~43mmHgとなり、高度の血圧低下 (47~32mmHg) も起きている。この例では高度の肥満があった (テスト前PO<sub>2</sub>は87~65mmHg) ことが主な原因と考えられる。他の1例では、誤嚥性肺炎を合併しており、一時的にPaO<sub>2</sub>が52mmHgに低下した。これらの症例は望ましいテスト前の条件を満たしていないが、結果的には無呼吸テストの目的を果たして臓器提供が

行われている。このように患者の背景因子や肺合併症でPaO<sub>2</sub>の低下が起こりうる。これに対しては呼吸管理に詳しい専門家の評価が必要で、全身状態の総合的評価のもとに緊急の場合の対応を十分にとって無呼吸テストを行うべきである。無呼吸テスト前の条件は望ましい値であって、絶対的条件ではないと考えるべきである。

#### 4 観察時間

判定に際しては、1回の検査だけでなく観察時間(判定間隔)をおき再確認をするのが一般的である。1回目と2回目との時間間隔を具体的に明示してある基準(たとえば厚生省基準)と、そうでないもの(たとえば米国神経学会基準)とがある。脳死の考え方において成人と小児で差がないところから、成人の基準を使用できるとする論文が多いが、成人よりも長い観察時間を設けている基準も少なくない(竹内 1996)。また、乳幼児の年齢によって観察時間を定めている基準もある。観察時間は判定の対象とする年齢層の下限とも関係する。観察時間を長くすれば臨床症状のみで十分判定できるとされている(Rowland 1983, Moshé 1986)。

#### 5 不可逆性の保証

不可逆性の保証として重要なのは観察時間である。厚生省基準の場合6時間以上となっており、厚生省研究班小児基準では12週以上6歳未満で24時間となっている。ちなみに米国のTask forceの基準では2ヶ月以上1歳未満では24時間、1歳以上18歳未満では12時間以上で、18歳以上では観察時間は特

に決められていない。ドイツ基準によると2歳以上の一次性病変で天幕上病変ならば12時間、2歳以下、新生児では補助検査をすれば前者で24時間、後者で72時間となっている。二次性病変では72時間が必要である(第9章で詳述)。このように小児では年齢に応じた観察時間を設けるのが一般的であり、補助検査も必須とされる年齢層(米国のTask Force基準における1歳未満、ドイツ基準における2歳未満)がある。また、補助検査を行うと決められた観察時間を短縮できるという考えが強い。

観察時間はどの基準をとっても大きい差があるわけではないが、若年層ほど長くし、なおかつ補助検査を加えるというのが常識的である。観察時間は経験的に決められたもので、脳死の病態生理を考え、最近の脳蘇生の進歩を加味しても、脳死状態における細胞レベルでの神経細胞の蘇生限界は1時間以内と考えられるので、それよりも遥かに長い時間である。この場合に神経細胞の再生に始まる複雑で高度の神経ネットワークの新生などは到底考えられないことである。脳死判定基準は経験的基準といわれるが、観察時間もまさにその通りである。個々の細胞レベルの観察時間ではなく脳全体としての機能の回復が不可能という意味である。医療には医学との長い相克の歴史がある。意識の成立機序が完全に解明されていないからといって、意識水準の変化を臨床的に分類することが合理的でないとは言わないだろう。

不可逆性のもう一つは脳循環検査や電気生理学的検査の応用である。最も高く評価されているのは脳循環検査であり、最近ではいろいろな方法が脳死判定にも用いられ

ている。これらの検査は不可逆性の証明に役立つが、脳死状態にあっても脳血流が存在するときがある (第4章参照)

## 6 複数医師による脳死判定 (診断)

多くの基準で脳死判定は施設が指名する複数の医師によって行われ、しばしば専門が指定されている。判定医の専門については、わが国では脳死の原疾患から脳神経外科医が多いが、救急・集中治療医、麻酔科医も判定に関わっている。重要なのは専門の名称よりも判定医の経験である。複数の医師による判定は経験と知識を互いに補完し、診断を確実にするという点で必須である。何人の医師が判定に関わるべきかについては、国際的なばらつきが大きい。基準に医師数の記載のない国から最高4名 (トルコ) まであり、2、3名とする国が多い。

### 引用文献

- Ashwal S, Serna-Fonseca T: Brain death in infants and children. *Crit Care Nurse* 26: 117-28, 2006
- Brilli R, Bigoss D: Apnea threshold and pediatric brain death. *Crit Care Med* 28: 1257, 2000
- 池田尚人, 有賀徹, 林宗貴他: 脳死判定における毛様脊髄反射の意義—毛様脊髄反射のみ陽性を示した2例—. *脳と神経* 51: 161-6, 1999
- 厚生省厚生科学研究費特別研究事業脳死判定上の疑義解釈に関する研究班. 総括研究平成11年度報告書: 脳死判定上の疑義解釈. *日医雑誌* 124: 1813-26, 2000
- 松田憲昌, 松本美志也, 坂部武史: 脳死判定における無呼吸テスト. *臨床麻酔* 32(3): 573-582, 2008
- Moshé SL, Alvarez, L A: Diagnosis of brain death in children. *J Clin Neurophysiol* 3: 239-49, 1986
- Pollack MM: Clinical issues of brain death in children. *Lancet Neurol* 6: 88-9, 2007
- Rowland T W, Donnelly, J H, Jackson, A H et al: Brain death in the pediatric intensive care unit. A clinical definition. *Am J Dis Child* 137: 547-50, 1983
- 榊原洋一: 小児の発達. 小児科学第2版. 監修 白木和夫、前川喜平 医学書院, 東京 1997, 19-36.
- 武下 浩: 無呼吸テストのあり方—脳死判定基準の必須項目. *医学のあゆみ* 192: 856-8, 1999
- 武下浩: 脳死判定基準 - 本邦ならびに諸外国の現状 -. *神経内科* 54: 497-505, 2001
- 武下浩: 小児脳死の課題. *臨床麻酔*, 31: 49-57, 2007
- 竹内一夫: 小児の脳死判定. *脳神経外科速報* 6: 185-8, 1996
- Truog RD, Robinson: WM. Role of brain death and the dead donor rule in the ethics of organ transplantation. *Crit Care Med* 31: 2391-6, 2003
- Vardis R, Pollack MM: Increased apnea threshold in a pediatric patient with suspected brain death. *Crit Care Med* 26: 1917-9, 1998
- Wijdicks EFM: Brain death worldwide -Accepted fact but no global consensus in diagnostic criteria. *Neurology* 58: 21-5, 2002

## 第8章 脳死判定の補助検査

村川 敏介、武下 浩

研究要旨 厚生省基準では、従来から一貫して補助検査という表現を用い、確認検査という用語は用いなかった。脳死判定に当たって機器による検査は補助的であるという意味であるが、国によっては補助検査を必須項目に加えている。信頼のおける確認あるいは補助検査を求めて多くの研究が行われ、最近では複数の補助検査を行って相互の関連性を調べている研究も多い。脳循環検査にもいろいろな方法が検討されて、利点、欠点なども明らかにされているが、完全な「補助検査」というものはなく、脳循環も例外ではない。小児に関しては欧米では脳シンチグラフィがよく用いられているようである。神経検査が主体であるといっても、補助検査の地位は揺るがない。神経検査で十分でないときはもちろん、乳幼児では補助検査を必須とする考え方が強い。不可逆性の保障は、前提条件、観察時間、必要に応じて補助検査を加えるの三つの条件で決まり、後2者は相互に依存しており、たとえば、補助検査をしなければ後は観察時間延長が必要である。このようにみえてくると脳死の判定には医師の総合判断が重要であることがよく分かる。

### 1 補助検査と確認検査

基準によって差があるのは補助検査(ancillary test)の位置づけである。外国の基準では確認検査(confirmatory test)といわれる場合が多いが、ドイツでは補完検査(Erganzende)といわれている。厚生省基準では電気生理学的検査、脳循環検査を補助検査と呼んできたが同基準では脳波が必須項目に入っているため、脳波以外の検査となると、現在のところ誘発電位及び脳循環に関するものである。用語の使い方として、厚生省基準は、脳死診断の中核は神経所見であるという立場から補助検査と称してきた。脳死判定のための補助検査は多いほどよいというものではない。患者・施設にかかる負担や検査所見の判断や信頼度などを考えると、確実に脳死を診断するのに必要な検査にとどめるべきである。

国際的にみて補助検査は、神経学的な診

断だけでは判定が困難なとき、小児脳死の診断に用いるとき、脳死の診断を早くしたいときに用いられると考えてよい。

近年の検査手法の進歩にもかかわらず、小児においても神経検査を繰り返し行って経過をみることの方が重要とされている(Ashwal 2001)。脳波、脳幹誘発電位などの電気生理学的検査や、各種の脳循環検査が採用されている小児基準もあるが(竹内1996)、臨床神経学的検査のみでは判定が困難な場合に利用すべきであるとする考えもある(Canadian Council for Donation and Transplantation 2003)。

補助検査や確認検査といわれるものは広範な領域を含んでおり、専門的知識と技術が必要である。本報告書がそれらのすべてを網羅することは不可能なので、ここでは基本的考え方と現状の概要を述べるにとどめる。

## 2 脳波と誘発電位

### 2-1 脳波

厚生省研究班小児基準では成人の基準と同様に脳波検査が必須項目になっており、平坦脳波でなくてはならない。通常の感度  $10\mu\text{V}/\text{mm}$  で記録し、一部分感度を上げて  $2\mu\text{V}/\text{mm}$  として記録し、脳波計の内部雑音 ( $2\sim 3\mu\text{V}/\text{mm}$ ) 以上の脳波がまったく認められないことを確かめる。平坦は誤解を招くので脳電氣的無活動 (electrocerebral inactivity; ECI) とされている。厚生省研究班小児基準では修正齢12週以降の乳児が脳死の判定対象であるが、脳波検査の実施にあたっては日本臨床神経生理学会による改訂臨床脳波検査基準2002 (日本臨床神経生理学会 2003) に準拠することが望ましい。

大府ら (2000) らは、小児脳死の判定における記録上の問題点を指摘している。基準では電極間距離を7cm以上、4導出、単極、双極というが、たとえば頭囲が30cm (標準小児の出生時) であり、7cm以上あけることは不可能なので追加導出が必要になること、アーティファクトの危険が高い環境での高感度30分以上の記録には困難を伴うこと、小児脳波判読の専門性などについて注意を喚起している。また、高感度でハムなどを除外した後も最後まで残る脳波様微小電位は皿電極を用いてインピーダンスが高いと生じるので、針電極で電極接触インピーダンスを  $2\text{k}\Omega$  以下にするとよい (橋本 2003)。脳波に関しては日本臨床神経生理学会、臨床脳波検査学会基準が出されている。それによると、脳死の判定に関する脳波検査は、① 平坦脳波とECIの定義、② 耳垂を基準とした導出及び電極間隔10cm以上の長距離双

極導出につき、それぞれ最低4導出以上混合したモニタージュで30分の連続高感度記録、となっている (石山 2002)。

### 2-2 小児の脳波

新生児、乳幼児では脳死と診断されても脳波活動が持続する場合はよく知られている。脳死と診断された当初は等電位脳波 (平坦、isoelectric) でないときも、数日経過すると多くの小児は電氣的脳無活動 (electrocerebral silence: ECS、electrocerebral inactivity; ECI) の状態になる。また、新生児で脳死と診断されてから脳波の回復がみられた例も報告されているが、その頻度は  $5/222, 500$  と低い (Ashwal 1997)。これらの例でも植物状態にも回復していない。Task Forceの基準では1歳未満小児での脳波検査を2回行うことになっているが、最初にECSがあれば臨床的脳死診断を支持していると考えてよいだろう。1歳以上では適切な観察時間中に神経所見の変化がなければ、脳波検査をする必要はない。低体温や薬物の影響がないことを確かめるのは当然である。低体温では平坦に近い脳波 (suppression) は  $24^{\circ}\text{C}$  以下でないともみられないし、等電位脳波になるのは  $18^{\circ}\text{C}$  以下とされている。体格の小さい乳幼児では体温の調節は比較的容易なので、 $35^{\circ}\text{C}$  に保つのは難しくない。薬物としては等電位脳波からの回復性の高いものに痙攣抑制のために用いられるフェノバルビタールの血中レベルが  $20\sim 25\mu\text{g}/\text{ml}$  以下であれば、脳波、無呼吸テスト、脳幹反射に及ぼす影響は少ないとされている (Ashwal 1993)。

## 2-3 誘発電位

日本の場合、公表済みの脳死下の臓器提供例で明らかなことは、聴性脳幹反応 (ABR) 検査がほとんどの例に行われていることである。所見としては全ての波またはI波以外の全ての波の消失である。規則で定められた脳波以外の検査として、体性知覚誘発電位 (SSEP) はABRほどには行われておらず、むしろ脳循環検査が行われている。米国神経学会基準の解説ではABRは取り上げられておらず、SSEPの方が詳しく書かれている。

ABRの有用性については、小児、特に6か月未満の小児では信頼性に欠けるといわれているが、脳死と診断された51例の小児について検討した結果では、90%で波形の完全消失、Ⅲ-Ⅶ波の消失がみられ、しかも、ECIに先行してみられたという (Ruiz-Lopez 1999, Butinar 1996)。大府ら (2000) によると13歳までの8例について無呼吸テストを除く脳死判定を行い、脳波が平坦化した時点と脳死判定時のABRを経時的に測定し、いずれの時点においても8例中3例にABRの波形成分の残存が認められた。脳波とABRは同時に波形消失をきたすわけではなく病態によって異なることを示唆している。2歳未満の小児脳死5例のうち脳波がECIを示した時のABRは、3例で全波消失、Ⅰ-Ⅱ、Ⅰ-Ⅲ波残存が各1例であったところから、ECIの測定が難しいときはABRが有用であるとしている。脳波と誘発電位とを比較して、後者では介在ニューロンが少ないので残存の可能性が高いと考えられる。

体性知覚誘発電位 (SSEP) については、ABRと比較して感度がよいとはいえないが、部位的にABRよりも下部の脳幹誘発電位を

測定しているのが特徴である。脳死と判定した症例の62.5%において、SSEPの完全消失あるいは頸髄反応のみがみられたと報告されている (Butinar 1996)。脳死症例でのABRとSSEPを比較検討した報告 (横田 2003) ではP18以降の脳幹、皮質成分は出現していない。P13, N13の脳幹成分は消失していた。ABRが行えないような時にはSSEPで補完するのがよいとしている。測定法の問題として、SSEPは正中神経から大脳皮質感覚野に至る深部感覚路を神経路に沿って波形を観察するので、通常のモンタージュ法では脳幹由来の波形を十分に評価し難い。横田ら (2006) はモンタージュ法を工夫して腕神経叢由来のP9、延髄膜状核由来のN18、内側毛帯、一部下部頸髄由来のP13、体性感覚由来のN20をそれぞれ別個に評価できるようにしている。

誘発電位に関しては、記録法が統一されていないと比較は困難であり、それぞれの測定条件が明示されていなければならない。日本臨床神経生理学会の誘発電位測定指針 (1997年改訂) に準じる必要があるが、脳死状態のようなときには工夫が必要であろう。いずれにしても脳死の診断に用いるときは、できるだけ方法を標準化しておく必要がある。その場合には小児に対する配慮も必要となる。

## 3 脳循環検査

脳血流が一定時間途絶すると脳細胞の死は確実であるという学理的根拠に基づき血流途絶の脳死の診断にもっとも有用であるとする考えから、脳循環検査は確認検査という名にふさわしい検査とされてきた。し

かし、脳死と診断された乳幼児、小児のすべてに脳血流の欠如や経頭蓋超音波ドプラー検査法(TCD)での異常パターンがみられるとは限らない。

ちなみに、脳循環の停止は、弾性の少ない頭蓋内で、脳細胞の障害から浮腫、組織圧の上昇、さらなる虚血の進展という悪循環が形成されることによる。単に脳細胞が死んだという理由だけで血流が停止するわけではない。画像診断による脳循環検査では、基本的には脳循環(特に脳幹への循環)が、神経細胞の生存に必要にして十分なほ

どには存在しないことを確認する必要がある。

表8-1はWijdicks(2001)の論文からの引用で、脳循環検査は米国における成人の確認検査として広く行われていると思われる。

### 3-1 脳シンチグラフィ

日本と異なり、米国では小児の脳循環測定には脳シンチグラフィが最も広く用いられている。理由は、放射性核種を静脈注入しておけば動脈採血を必要とせず、シンチカメラですぐに結果を得ることができる。

**表 8-1 脳死判定の確認検査**

#### 脳血管撮影(造影)

- ・造影剤は、総頸動脈・椎骨動脈の領域に高圧で注入されなければならない。
- ・内頸動脈と椎骨動脈の頭蓋内入口レベルで脳内造影があってはならない。
- ・外頸動脈領域は造影がみられなくてはならない。
- ・上矢状洞の描出は遅れてもよい。

#### 脳波

- ・少なくとも4導出(8電極)を使用する。
- ・電極間抵抗は100Ω以上、10KΩ以下とする。
- ・脳波測定システムの総合機能チェックを行う。
- ・電極間距離は少なくとも10cm以上とする。
- ・感度は2μV/30分以上とし、その間適時較正を行う。
- ・ハイカットフィルターは30Hz以上とし、ロウカットフィルターは1Hz未満とする。
- ・脳波測定は、激しい体性感覚刺激や視聴覚刺激の反応がない状態で行う。

#### 経頭蓋ドプラー超音波検査

- ・両側で超音波検査を行う。プローベは頬骨より上部の側頭骨におく、大後頭孔窓で椎骨・脳底動脈を検索する。
- ・異常所見としては、拡張期の血流消失あるいは反射流(reverberating flow)の欠如、収縮期初期のみの短いスパイクを認めることである。
- ・頭蓋内全血流停止の所見があっても、経側頭骨窓からの不十分な探査のため信頼できない可能性がある。

#### 脳シンチグラフィ(Tc-99m-HMPAO)

- ・核種は30分以内に注入する。(標識化合物を造った後)
- ・核種注入後30~60分の間と2時間後に数カ所の部位において、50万カウントの静止画像を撮る。
- ・血管内に正しく注入されたか否かの確認は腹部のイメージで肝臓への取り込みを確認する(随意項目)。

(N. Engl. J. Med, 344.. 16, 2001)

安全で信頼性があり、電氣的干渉を受けず、頭蓋欠損や頭皮の外傷があっても検査が可能であるのも利点である。わが国ではシンチカメラの設置されている場所に患者を移す必要があるが、欧米ではベッドサイドに持ち運びのできるポータブル・

シンチスキャナが普及しており施行が容易である。大部分の方法で初期のdynamic phaseで循環を評価し、その後、それぞれの放射性核種の脳への吸収をstatic imageで検査する。放射性核種を急速に注入し頭蓋像を得る。動脈相において数秒以内に脳活性がえられ、脳活性ピークから6-8秒以内に矢状洞活性が観察される (Wieler 1993)。初期相の活性が認められなければ血流はないと判断される。最近では、

Tc-99m-HMPAO (ヘキサメチルプロピレンアミンオキシシ) が用いられることが多く、より正確な脳実質のstatic image が得られる。核種をICUで注射して、後はガンマカメラあるいは核医学部門へ移して検査する。多くの研究で、この方法が成人、小児ともに正確で再現性があり、脳血流の存在を確認するには他の方法よりも優れていると報告されている。にもかかわらず、わが国で行われない理由は、放射性物質の病院内での使用が厳しく制限されているためであろう。脳血流欠如の主な原因は灌流圧の低下によるが、血管平滑筋、脳実質からの血管収縮性物質の放出が関与している可能性もある。小児脳死で血流がみられないとき、脳灌流圧は20-30mmHgといわれるが、8ヶ月から3歳の小児脳死例で頭蓋内圧を測定した研究によると、45-50mmHg以上の灌流圧があったという (Goodman 1985, Holzman

1983)。要するに、頭蓋内圧の上昇が血流停止の主因ではあるが、それ以外の上述の機序の関与も考えられる。

### 3-2 ゼノン脳血流量測定

ゼノンを用いた脳血流量測定 (XeCBF) による成人脳死8症例の脳血流量値 (CBF) は  $1.6 \pm 2.0 \text{ ml/min/100g}$  で (Darby 1987)、脳シンチグラフィで血流の認められなかった小児脳死の9例のXeCT/CBFは  $1.29 \pm 1.6 \text{ ml/min/100g}$  であったという報告 (Ashwal 1989) がある。このことは、成人でも小児でも脳死ではXeCTによる脳血流量値が  $2 \text{ ml/min/100g}$  以下になると脳シンチグラフィでの血流停止の所見と一致する (Ashwal 1989, Darby 1987)。本多ら (2004) は7例の脳死、切迫脳死などの重症脳傷害患者のXeCTの画像処理を行い、脳血流量は左右大脳半球の平均値を用い脳血流マップを作成した。さらに脳血流のヒストグラムを作成して血流評価した。全例で脳血流量は  $4 \text{ ml/min/100g}$  以下であった。脳死症例では  $0 \text{ ml/min/100g}$  をピークとした低還流を示すピクセルが多くの割合を占めた。また、脳血流マッピングは、すべてのスライス面で蜂巢状の特殊なパターンを示すと報告している (本多 2006)。

### 3-3 経頭蓋超音波ドップラー検査

脳死診断の補助検査としての経頭蓋超音波ドップラー検査 (Transcranial Doppler Sonography; TCD) に関する研究は多い。測定機器がポータブルで非侵襲的などころがよいが、相当な経験を必要とする。脳死では特異的パターンとして拡張期血流速の消失、拡張期の逆流を伴う振動波パターンや

収縮期流速の減少などがみられる。小児脳死のTCDは1980年代初期から発表されており (McMenamin 1983)、それらによると頭蓋内圧亢進が進行する症例では特徴的TCDパターンの変化がみられる。放射性核種による画像あるいは脳血管撮影とTCDによる所見との関係はみていないが、TCD所見で脳血流の消失が見られた症例では剖検では脳死に伴う脳組織の壊死がみられた。小児のTCDに関しては、脳死に至る典型的パターンを示すという報告 (Messer 1990) もあるが、一方で脳死と判定されたにもかかわらずTCDが正常であったという報告や、拡張期流の反転がみられたにもかかわらず回復したという報告 (Jalili 1994, Bode 1988) もある。頭蓋内圧亢進や血管抵抗増加をきたしていない小児脳死、特に乳幼児、新生児では特異的パターンを示さないものと思われる。

### 3-4 その他の検査

単光子放出型コンピュータ断層撮影 (single-photon emission computed tomography; SPECT) は小児での報告があり、桂木 (2001) は脳死の疑いのある3歳以下の小児12例にSPECTを行い、6例で脳血流の途

絶を認め、他の所見とあわせて脳死と診断している。3例では脳全体に蓄積、他の3例では一部にごく微量の集積を認め、一部に集積の認められる例では検討を必要としている。さらに、臨床的脳死を疑った成人を含む56例を対象として行ったところ、ほとんどの症例でSPECTにより脳死の確認あるいは否定が可能であったが、小児脳死症例においては少量の部分的血流があり境界線上にある例も存在したという (桂木 2002)。臨床的脳死状態での磁気共鳴画像法 (magnetic resonance imaging; MRI) や磁気共鳴血管撮影 (magnetic resonance angiography; MRA) による検討は少ない。図8に示す症例は、2ヶ月齢のときに窒息が原因で深昏睡、脳幹反射の消失をきたし人工呼吸管理を行い、1年4ヶ月経過している小児の発症時のCTと1歳6ヶ月のMRIとMRAである (図8-2A、図8-2B)。この間、神経症状は全く変化していない。MRIではスポンジ状に脳実質の軟化が起きているが、MRAでは支持組織と見られる組織への血流は維持されていると思われる (症例提供は福岡徳州会病院周産期センターの好意による)。