小児重症頭部外傷ガイドライン

荒 木 尚 師 田 信 人

Guidelines for the Management of Severe Traumatic Brain Injury in Children

by

Takashi Araki, M.D. and Nobuhito Morota, M.D.

from

Division of Neurosurgery, Department of Surgery, National Medical Center for Children and Mothers,
National Center for Child Health and Development

The present pediatric traumatic brain injury guidelines outline several important topics of treatment and provide a detailed, evidence-based system for management of children with severe TBI, although there are limitations due to the lack of strong evidence or proven efficacy for obtaining better functional outcome of the patient. Especially, securing the airway and maintaining proper breathing are paramount in the first step of the pediatric TBI management in order to prevent any extension of secondary brain injury. Breakthrough discoveries in the treatment of pediatric TBI can be expected, along with the development of therapeutic interventions by focusing on the patient's high cognitive function and diagnostic imaging studies in the future.

(Received July 21, 2011; accepted August 29, 2011)

Key words : traumatic brain injury, children, guidelines, management

Jpn J Neurosurg (Tokyo) 20 : 809-817, 2011

はじめに

「頭部外傷」は小児の死亡率、有病率の主要な原因であり、特に重症頭部外傷の死亡率は20~30%と高いため²⁹⁾。一方、救命しえた場合でも、神経学的後遺症や高次脳機能障害などを合併した場合、本人や家族、社会が生涯にわたり負担する医療費は莫大なものとなる。さらに近年、虐待による頭部外傷の発生頻度が増加しており、「軽微な外傷など」により発症する乳幼児急性硬膜下血腫への対応も、従来とは異なる診断プロセスが必要とされている。同時に被虐待児は一般的に養育に多くの問題を抱えており、深刻な社会問題でもある¹⁰⁾¹⁶⁾²⁵⁾。

このように、頭部外傷は子どもの生涯を通じて影響を

もたらし、特に急性期病態への対応が機能予後に最も強くかわる因子であることから、二次的脳損傷を最低限にするための努力が必要である。

また小児頭部外傷に対応する際には、成長発達を考慮する必要があることや、解剖・生理学的な特徴が特有の病態をもたらすため、ガイドラインとして診断・治療を標準化することは容易ではない (Fig. 1)。

2000年に日本脳神経外傷学会から『重症頭部外傷治療・管理のガイドライン』が出版されている³⁸⁾。初版の序では、“標準化された治療を行うことが治療の成績や転帰の向上に繋がるもの”と期待され、“医学教育の向上や新しい治療法の開発などの指針となること”や、“不要な治療・管理が減少し医療コストが削減されること”を期

国立成育医療研究センター脳神経外科／〒157-8535 世田谷区大蔵 2-10-1 [連絡先: 荒木 尚]

Address reprint requests to: Takashi Araki, M.D., Division of Neurosurgery, Department of Surgery, National Medical Center for Children and Mothers, National Center for Child Health and Development, 2-10-1 Okura, Setagaya-ku, Tokyo 157-8535, Japan

Fig. 1 Various guidelines for the management of head injury in children related to the interests of each department

ICP: intracranial pressure, NICE: National Institute for Health and Clinical Excellence, CATCH: Canadian Assessment of Tomography for Childhood Head injury, PALS: Pediatric Advanced Life Support, ATLS: Advanced Trauma Life Support, ITLS: International Trauma Life Support, JATEC: Japan Advanced Trauma Evaluation and Care

待して作成されたと明記されており、ガイドラインが、現場において担当医が知るべき「minimum essential」とは何か、何をすべきでないか、を示すことを理念として編纂された経緯が伺える。

本稿では、内外のガイドライン¹⁾²⁾³⁸⁾が示す治療指針を改めて解説し、近年報告された臨床研究結果を踏まえ、2012年に予定される第3版の改訂のポイントについて考察する。

小児頭部外傷における二次性脳損傷

二次性脳損傷とは、一次性脳損傷により生じた低血圧、異常高血圧、低酸素、低血圧などの全身性因子が誘発する一連の反応によって生じる脳への続発的損傷をいう⁶⁾。一次性脳損傷により誘発される生理学的・病態生理学的反応には、①脳血流自動調節能の障害、②血液脳関門の破綻、③炎症の連鎖反応、④酸素化ストレス、⑤興奮毒性、⑥アポトーシス等遅発性神経細胞死、などが挙げられ、個々の変化により脳局所またはびまん性に神経細胞内外に浮腫を生じることが知られる。脳浮腫の進行はさらなる虚血性脳損傷を悪化させ、悪循環を形成することになる⁴⁾¹⁷⁾³⁹⁾。

小児は容易に気道閉塞を起こし、低酸素や高炭酸ガス

血症を合併するため、呼吸循環動態が不安定になりやすい。また、徐脈にもなりやすく、心拍出量低下を伴う結果、脳への血液・酸素供給が減少する。多発外傷では頭蓋外損傷による失血が容易に全身循環動態を破綻させる。ガイドラインでは、救急初期治療の段階から、全身循環動態の安定化を優先したアプローチを推奨している。

小児重症頭部外傷におけるびまん性脳腫脹は、未熟な自動調節能による充血現象と解釈されていたが、むしろ自動調節能が未熟であるがため脳血流が体血圧依存となり、収縮期低血圧により容易に脳虚血をもたらすと考えられている。また、被虐待児の頭部外傷例における検討では、中枢神経特有の病理学的変化が指摘されており、放射線学的にもきわめて短時間で萎縮が生じる経過などから、一般の事故による頭部外傷とは異なった、過剰な興奮毒性などによる損傷のメカニズムが推測されている¹⁵⁾¹⁶⁾²⁵⁾。

予防が脳損傷を防止するための最高の治療法であるが、現時点では、二次性脳損傷を予防する方法の開発には至っていない。可能なかぎり受傷初期の段階から、「脳損傷の進行を防止する」ことを念頭に置いた対応ができるよう、救急蘇生法の受講や効率的な救急搬送システムの構築を提唱している³⁾⁷⁾²³⁾³²⁾。

Fig. 2 The stepwise protocol for the management of severe head injury in children : First-tier therapy (Reprint with permission from Ref. 1)

GCS: Glasgow Coma Scale, ICP: intracranial pressure, CPP: cerebral perfusion pressure, HOB: head of bed, CSF: cerebrospinal fluid, CT: computed tomography, PRN: as needed

Guidelines for the acute medical management of severe traumatic brain injury in infants, children, adolescents¹⁾²⁾

アメリカの小児重症頭部外傷ガイドライン（以下、米国ガイドライン）は、2003年に発表された。このガイドラインは Brain Trauma Foundation による成人用ガイドラインの形式を踏襲し、小児頭部外傷診療を包括的に、

病院前救護の点から外科手術適応に至るまで視点を広く設けたものである。小児外傷センターで治療された重症頭部外傷患者のほうに死亡率・罹患率ともに低下したという根拠を挙げ、「小児外傷診療に特化した救急搬送体制の構築」などの社会的提言を行っている⁴⁰⁾。

初期治療の章では、現場における気道確保、循環安定化の蘇生の重要性が示され、一貫した二次性脳損傷防止が強調されている。特に小児に対する現場での気管挿管

Table 1 Clinical topics which will be revised in the new edition of the Japanese guideline based on the level of clinical evidence

改訂のポイント	
・レベルⅠ	ステロイドは無効
・レベルⅡ	低血圧 (90 mmHg) の防止 ICP モニターの有用性 予防的過換気は無効 栄養支援 抗痙攣剤の予防的投与 早期てんかんに対し・遅発性には無効
・レベルⅢ	低体温療法は無効 脳組織酸素分圧の測定 減圧開頭術は？

ICP: intracranial pressure

は、右主気管支への片肺挿管や食道挿管などの合併症発生率が高いため、手技に熟練した医師のみが実施すべきである³³⁾といった注意点も示される。このような視点はまさに multidisciplinary approach を実践するうえで重要である。

頭蓋内圧 (以下、ICP) 亢進の治療についての項目では、ICP 測定の臨床的意義を述べ、ICP 値をターゲットとした段階的治療法が整理された (Fig. 2)。呼吸循環を安定化させるための蘇生法を含め、基本的かつ治療効果がより明らかなものを First-tier、侵襲を伴う治療でありながら evidence としての根拠が弱いものを Second-tier として分類し、flow chart として理解できる。

米国ガイドラインにおけるレベルⅠ推奨項目は、①プロポフォール持続投与の禁止、②長期間の過換気療法は無効であり、有害であること、③受傷後 7 日以降は抗痙攣剤による外傷性痙攣の予防効果はないこと、以上 3 点である。国内外ともに小児重症頭部外傷の比較対象試験はきわめて少なく、エビデンスレベルが下がらざるをえなかったこと、成人を対象とした臨床研究による知見を参考として使用されていることも今後の課題である。

重症頭部外傷のガイドライン

(改訂第 2 版, 2007 年)³⁸⁾

本邦のガイドラインは、欧米と異なる医療保険制度や医療体制の下で、重症頭部外傷を受け入れる施設も地域によりさまざまであることなど、日本の現状に照らし、本邦の臨床研究やエキスパートの意見を集約した形で編纂されている。

第 2 版では、小児頭部外傷の解説は、第 6 章「小児と

高齢者に対する治療・管理」において約 20 ページ (pp.79-99) にわたり記載されている。①病院到着前救護、②ICU での管理に区分されており、②の ICU 管理はさらに 13 項目に区分され詳述されている。参考文献としては全 44 論文が引用され、そのうち英文が 34 個と大半を占める。今後国内の小児頭部外傷についても臨床研究の発表が期待されている。

ガイドラインのサイズの関係から、各項目について記述は短く簡潔なものとなっているが、アメリカのガイドラインの内容を「欧米文献の検証」として付記している。

誌面の都合上、詳細は『重症頭部外傷治療・管理のガイドライン』を参照していただき、本稿では日米ガイドラインにおける小児重症頭部外傷治療、特に ICP 管理法の相違点を比較し、さらに 2007 年以降発表された小児重症頭部外傷の治療に関する大規模な臨床研究、すなわち①重症頭部外傷に対する軽度低体温療法、②減圧開頭術の有効性を踏まえ、ガイドラインの将来像について概説する (Table 1)。

① 病院到着前救護

低血圧・低酸素の是正、気道確保・酸素投与、颈椎保護、応急処置などはガイドライン上、繰り返し重要性が強調されている。二次性脳損傷の進行を防止するうえで基本的なものであり、脳神経外科医が頭部外傷の初期診療を担当施設では、PALS (pediatric advanced life support) などの小児救急患者蘇生の学習コースを履修しておくとい⁵⁾²²⁾。

現場での気道確保については、小児患者に対する気管挿管が予後を改善させたという記載はなく、バグバルブマスクなどによる基本的気道確保および換気により安定した状態が確立できれば十分である。

② 専門施設への搬送基準

近年、ドクターカー、ドクターヘリなどの普及により、医師が現場において初期治療を達成できる地域も増えている。ガイドラインでは専門施設への搬送基準を掲げているが、本邦の小児救急搬送体制では、直近の救命救急センターに収容される事例が多い。いったん救命処置を行い、さらに高次の呼吸循環管理が可能な施設へ搬送するシステムを有した地域もある。独立型の小児外傷センターが稼働している施設は存在しない。

③ 来院時の診察上の注意点

バイタルサインに加え、詳細に全身を評価することが重要である。乳児の頭部外傷の診察では病歴の聴取をで

きるだけ詳しく行い、虐待の疑いについて留意する。平成 22 年（2010 年）度の児童相談所相談件数は約 43,000 件であり、重症例も増加しつつある。救急室において疑わしい症例は入院させ、総合的判断を待つことが望ましい。

④ 来院後の初期治療

「全身状態の瞬時把握と救急処置が全てに優先する」とされており、ガイドライン内には小児の年齢に応じたバイタルサインの正常値も揭示されている。また静脈路確保が困難な場合には骨髄針を用いて骨髄内輸液を行うことや、低血圧時に細胞外液 20 ml/kg の急速輸液を行うことも言及している。小児頭部外傷患者における低血圧、低酸素の合併防止についての意識啓発は、ガイドラインの意義であるといえる。

⑤ ICU での管理

1. ICP の測定の適応と方法

本邦のガイドラインに対するコンプライアンス率調査によれば、ガイドライン推奨の ICP モニタリング実施率は 30% 以下との報告がある³⁷⁾。また小児例に対し、ICP センサー挿入を実施しない施設も多い。ICP センサーの使用自体が外傷の転帰を改善したという根拠はないものの、ICP 亢進は予後不良と強い相関を示すため、ICP 管理は予後改善の必要条件であるといえる。本邦では脳室ドレナージによる ICP 測定よりも脳実質センサーの使用例が多い。小児では ICP 亢進の臨床症状が明らかにならない場合や、意識レベル評価が困難であるため、ICP を数値として客観的に追跡することにより、管理が容易となる点もある。

2. ICP の治療閾値

米国ガイドラインでは、ICP 20 mmHg が 5 分以上持続する場合を ICP 亢進と定義している。年齢に応じて ICP 治療の閾値を変更する必要があるかどうかについては一定の結論はいまだ存在しない¹³⁾。文献的には ICP 20 mmHg 以下を治療目標としていることが多いが、サイズ・重量・水分含有量などを考慮した場合、乳幼児でも ICP 20 mmHg が閾値として適正である根拠はない。このため、現時点では絶対値として ICP 値を単独のターゲットとした治療法ではなく、脳環流圧（CPP）や頸静脈洞内酸素飽和度（SjO₂）値、経頭蓋ドップラーエコーなどの画像所見を総合した管理が好ましいと考えられている²⁷⁾³⁴⁾。

3. 脳灌流圧（CPP）の治療閾値

頭部外傷後の脳血流（CBF）低下や組織虚血を報告し

た論文が多い³⁵⁾⁴⁶⁾⁴⁹⁾⁵¹⁾。本来、実際の組織虚血は CBF の直接測定により評価されるべきであるが、CPP と CBF が直線的に相関したことから、CPP の維持は CBF を安定化させ、結論として神経学的予後を改善させるという論理である。自動調節能が作用する場合、人為的な CPP 上昇は脳血管平滑筋収縮を誘発し CBF は一定に維持されるが、小児は自動調節能が未熟であり、CBF も収縮期血圧に依存すると考えられているため、CPP 維持は成人以上に重要である。治療閾値については年齢に応じて変更すべきかどうか不明である。ただし CPP 40 mmHg 以下で死亡率と相関するといわれている¹²⁾。また小児例において ICP targeted therapy と CPP targeted therapy の有効性を比較し、CPP targeted による予後が優れていたという報告もある⁴³⁾。

近年 PbtO₂などの新しいモニタリングを用いた組織低酸素の評価法が検討されているが、CPP 自体は局所脳損傷における組織虚血を反映しえないという報告が多い¹⁹⁾。将来的には個々の患者、損傷脳の状態に応じた治療介入が必要となる可能性がある。

4. 鎮静剤、鎮痛剤、筋弛緩剤の治療的使用

致死代謝性アシドーシスの報告を基にした小児例に対するプロポフォール持続的投与は禁忌であることを知らなくてはならない⁸⁾。これは米国 FDA の勧告でもある。十分な鎮静、筋弛緩はそれ自体が ICP 降下作用や代謝抑制効果を期待できるという報告もある。

5. 脳室ドレナージによる ICP 管理

小児例における脳室ドレナージの有効性は、1982 年、Shapiro ら⁴⁵⁾の class III study により報告されている。また Ghajar ら²¹⁾は成人例において、脳室ドレナージを用いて ICP を 15 mmHg 以下に管理したことで、死亡率が大きく低下したと報告している。このように、米国では標準的に行われている脳室ドレナージであるが、ガイドラインでは GCS 8 以下の症例に対する ICP 測定および ICP 亢進に対する治療の標準的手法として位置づけられている。

本邦においても有用性を主張する報告が増えている。また髄液排出により治療を行った結果、高浸透圧利尿剤の総使用量、低体温管理、ICU 在室日数などが減少したという報告もある。小児例では脳室サイズが狭く手技の困難さを理由に実施しないという意見もあるが、脳室穿刺の際の合併症についての調査では、出血性合併症、誤穿刺は 1% 以下、感染などが 5% 以下とされ、その他のモニタリング法と相違ない²⁰⁾。

6. 高張剤による治療

本邦では小児患者に対して、マニトール、グリセオー

ル両者が用いられるが、米国ではマニトールのみを投与した治療内容の記載が多い。マニトール使用については、ボラス投与を行った後 30 分以内に効果が認められないものを無効として判断し、血漿浸透圧や腎不全のリスクに照合して、繰り返す投与回数を判断している⁴⁴⁾。生体で代謝を受けない低分子物質であることから小児例に使用することを生理的でないとみる意見もある。いずれの場合も、正常循環血液量を維持することが推奨されている。

高張 (3%) 食塩水は通常 0.1~1.0 ml/kg/h の持続投与が標準的であるが、本邦では 3% 製剤の使用が認可されておらず、10% 製剤を調合し代用することが多い。高張食塩水の生理学的作用としては、①血液粘弾度の低下による脳血流改善、②脳血流量低下による頭蓋内血流量および頭蓋内圧降下、その他③神経細胞の静止膜電位の回復、④心房性ナトリウムペプチドの分泌低下、⑤炎症連鎖の停止、⑥心拍出量改善などが挙げられている。原則として、血液脳関門や血管自動調節能が破綻した部位の脳組織では効果は期待できない。投与による腎不全などの合併症発生率はマニトールに比べ低いと考えられている²⁸⁾。

7. 過換気療法

「盲目的な過換気は望ましくない」と明記されている。Bruce ら⁹⁾が提唱した小児重症頭部外傷急性期の脳充血現象は実際にはみられないということ、予防的過換気の有効性が脳虚血を誘発する、などの臨床研究結果を受けている。びまん性脳損傷の場合、血管自動調節能や二酸化炭素反応性について CT 画像では評価困難なことから、脳血流・脳代謝モニターを駆使しながら換気設定を調節することが求められている¹¹⁾⁵⁰⁾。特に受傷後 24 時間以内はさらに脳血流量の低下が予想され、十分な注意が必要である。横田ら⁵²⁾は、ICP 値と SjO_2 値により重症頭部外傷病態の経時的変化を 6 区画に分類し、各病態の生理学的特徴を踏まえ治療することを推奨している。

8. バルビツレート療法

小児に対するバルビツレートの効果について、ICP 降下作用は認められている一方、予後改善との相関については依然不明である。小児に対しては脳波上の burst suppression を確認できる十分な投与量を持続的に使用しても神経保護効果は期待できないとされている。また ICU など呼吸循環管理の可能な環境下で実施することが必須である。バルビツレートによる心筋抑制、低血圧の合併に留意する。難治性の頭蓋内圧亢進では、脳組織がきわめて脆弱な状態にあり、わずかな低血圧であっても二次性脳損傷が増悪する可能性が高い。このため十分

な補液と昇圧剤の併用、また循環動態の鋭敏なモニタリングができない場合には盲目的な使用を避けるべきである⁴¹⁾。

9. 低体温療法

小児重症頭部外傷に対する低体温治療の有効性を論じた RCT (randomized controlled trial) では、主に低体温の治療応用の安全性と神経学的予後が評価検討されてきた。2008 年、トロント小児病院を中心として行われた RCT は、その有効性について否定的な結論を報告した。“受傷後 8 時間以内に低体温状態に到達し、頭蓋内圧亢進の有無にかかわらず 24 時間に限り 33~34°C の低体温管理を行った小児重症頭部外傷症例”を対象とした結果であり、依然アジア諸国 (日本、韓国、中国など) からは“低体温の頭蓋内圧降下作用”を強く主張した報告も多く、議論の多いところである²⁴⁾。北米の低体温治療プロトコールは概して管理時間が短く設定されたものが多く、平均 24~48 時間の低体温維持で治療を終了する。また比較的急速に復温を行っている¹⁴⁾。一方、低体温の強力な ICP 降下作用を治療に用いる本邦や中国などのプロトコールは、より長い低体温維持期間を要する。また復温速度も緩徐なものが多い。従来、急速な速度での復温や 48 時間以内に開始された復温は、高率にリバウンド現象 (ICP 上昇) を惹起することが知られており、不適正な速度での復温によって血液循環動態が不安定化し、二次的神経損傷が付加された可能性の有無を論じることが妥当であると考えられる。低体温において、①ICP monitoring の必要性、②冷却期間、③復温の開始判断と復温速度については今後さらに検討される必要がある。

10. 減圧開頭法

小児例に対する有効性について、Polin ら⁴²⁾は 80% の症例に良好な転帰を認めたと報告し、Taylor ら⁴⁷⁾は唯一の RCT を行い、減圧群の 54% が予後良好を示し、非減圧群の 14% に比べ良好な予後であったと報告した。また Jagannathan ら²⁶⁾は、“減圧開頭術は小児重症頭部外傷例に対して、臨床的、機能的に良好な予後をもたらする方法である”と結論している。過去多くの報告が、早急な開頭こそ良好な予後をもたらすとしてきたが、近年、小児患者においては特に呼吸循環動態が不安定な状態で性急に減圧開頭術を行うことで死亡率を増加させることが明らかとなっている。十分にバイタルサインが安定する努力を継続し、ICP モニタリングを行い、経時的な CT 撮影や神経学的所見の評価が必須である。

11. ステロイド剤の使用

ステロイドの使用については、内因性コルチゾール分泌抑制や血糖上昇などの合併の可能性が報告されてお

り、その有効性も否定されている。現在では重症頭部外傷の治療上使用される理由はない¹⁸⁾。

12. 抗てんかん剤

小児、特に乳幼児では受傷後7日以内に発生する早期てんかんの危険性が高いとされ、重症例に対し受傷早期からの抗てんかん剤の予防的投与が推奨されている。また2歳以下の乳児における早期てんかん発生の危険因子について、①低血圧の合併、②被虐待児、③GCS 8以下のいずれにおいても投与が好ましい。

晩期てんかんの発生に対する予防的投与の効果はなく、現在は推奨されていないため、早期てんかんの予防目的で投与されていた抗てんかん剤はいずれかの時点で中止をすることになる。中止のための具体的指針は存在しないが、各種画像、脳波、血中濃度の検査を行い、同時に臨床的な経過を考慮して半減するなどの方法が一般的である³⁰⁾³¹⁾⁴⁸⁾。

最後に

“わが国は先進国である”とすべての国民が信じて疑わないであろう。しかし1~4歳の小児における不慮の事故による死亡率は、他の先進諸国と比して10倍以上の高さを依然維持しているのである。小児外傷の死因の第1位が頭部外傷である以上、日本の脳神経外科医は真剣にこの現状を認識しなくてはならない。小児外傷死亡率の高さの原因を病院前救護の質や救急初期治療に責任転嫁する前に、“小児頭部外傷”そのものが正しく認識されているか、もう一度真摯に振り返り、襟を正さねばならない。

1970年、中村ら³⁶⁾の名著『小児頭部外傷の剖検所見と臨床』の序文において、故佐野圭司先生は、“脳神経外科医にとって小児頭部外傷の特殊性を知っておくことは(中略)必要不可欠の資格であり、責務である”と述べられている。この一文を付し、未来の脳神経外科を担うわれわれが、さらなる外傷臨床の発展に尽くすことを誓わねばならない。

文 献

- Adelson PD, Bratton SL, Carney NA, Chesnut RM, du Coudray HE, Goldstein B, Kochanek PM, Miller HC, Partington MP, Selden NR, Warden CR, Wright DW: Guidelines for the acute medical management of severe traumatic brain injury in infants, children, and adolescents. Chapter 17. Critical pathway for the treatment of established intracranial hypertension in pediatric traumatic brain injury. *Pediatr Crit Care Med* 4 (3 Suppl): S65-67, 2003.
- Adelson PD, Bratton SL, Carney NA, Chesnut RM, du Coudray HE, Goldstein B, Kochanek PM, Miller HC, Partington MP, Selden NR, Warden CR, Wright DW: Guidelines for the acute medical management of severe traumatic brain injury in infants, children, and adolescents. Chapter 19. The role of anti-seizure prophylaxis following severe pediatric traumatic brain injury. *Pediatr Crit Care Med* 4 (3 Suppl): S72-75, 2003.
- Adelson PD, Ragheb J, Kanev P, Brockmeyer D, Beers SR, Brown SD, Cassidy LD, Chang Y, Levin H: Phase II clinical trial of moderate hypothermia after severe traumatic brain injury in children. *Neurosurgery* 56: 740-754, 2005.
- Alexander M: Mild traumatic brain injury: Pathophysiology, natural history, and clinical management. *Neurology* 45: 1253-1260, 1995.
- 荒木 尚, 山本 守, 三重野英樹, 中村英一郎, 田久保啓誌, 北薮雅敏, 横堀将司, 渥美生弘, 布施 明, 佐藤秀貴, 横田裕行, 山本保博: 救急医と脳神経外科医の連携: 小児神経外傷における PALS と Trauma Team Leadership. *Neurosurg Emerg* 14: 18-25, 2009.
- Beaumont A, Marmarou A, Ward J: Intracranial hypertension mechanism and management. in McLone DG (ed): *Pediatric Neurosurgery: Surgery of the Developing Nervous System*. Philadelphia, WB Saunders, 2001, pp.619-633.
- Brain Trauma Foundation: Guidelines for the management of severe traumatic brain injury. *J Neurotrauma* 24 (Suppl 1): S1-S106, 2007.
- Bray RJ: Propofol infusion syndrome in children. *Paediatric Anaesth* 8: 491-499, 1998.
- Bruce D, Raphaely R, Goldberg AI, Zimmerman RA, Bilaniuk LT, Schut L, Kuhl DE: Pathophysiology, treatment and outcome following severe head injury in children. *Childs Brain* 5: 174-191, 1979.
- Caffey J: On the theory and practice of shaking infants: Its potential residual effects of permanent brain damage and mental retardation. *Am J Dis Child* 124: 161-169, 1972.
- Chaiwat O, Sharma D, Udomphorn Y, Armstead WM, Vavilala MS: Cerebral hemodynamic predictors of poor 6-month Glasgow Outcome Score in severe pediatric traumatic brain injury. *J Neurotrauma* 26: 657-663, 2009.
- Chambers IR, Kirkham FJ: What is the optimal perfusion pressure in children suffering from traumatic coma? *Neurosurg Focus* 15: E3, 2003.
- Chambers IR, Jones PA, Lo TY, Forsyth RJ, Fulton B, Andrews PJ, Mendelow AD, Minns RA: Critical thresholds of intracranial pressure and cerebral perfusion pressure related to age in paediatric head injury. *J Neurol Neurosurg Psychiatry* 77: 234-240, 2006.
- Clifton GL, Miller ER, Choi SC, Levin HS, McCauley S, Smith KP Jr, Muizelaar JP, Wagner FC Jr, Marion DW, Luerksen TG, Chesnut RM, Schwartz M: Lack of effect of induction of hypothermia after acute brain injury. *N Engl J Med* 344: 556-563, 2001.
- Duhaime AC, Gennarelli TA, Thibault LE, Bruce DA, Margulies SS, Wiser R: The shaken baby syndrome: A clinical, pathological, and biomechanical study. *J Neurosurg* 66: 409-415, 1987.
- Duhaime AC, Durham S: Traumatic brain injury in infants: the phenomenon of subdural hemorrhage with hemispheric hypodensity (“Big Black Brain”). *Prog Brain*

- Res* 161: 293-302, 2007.
- 17) Faden AI, Demediuk P, Panter SS, Vink R: The role of excitatory amino acids and NMDA receptors in traumatic brain injury. *Science* 244: 789-800, 1989.
 - 18) Fanconi S, Klöti J, Meuli M, Zaugg H, Zachmann M: Dexamethasone therapy and endogenous cortisol production in severe pediatric head injury. *Intensive Care Med* 14: 163-166, 1988.
 - 19) Figaji AA, Zwane E, Thompson C, Fieggen AG, Argent AC, Le Roux PD, Peter JC: Brain tissue oxygen tension monitoring in pediatric severe traumatic brain injury Part 1: Relationship with outcome. *Childs Nerv Syst* 25: 1325-1333, 2009.
 - 20) Gambardella G, Zacccone C, Cardia C, Tomasello F: Intracranial pressure monitoring in children: Comparison of external ventricular device with the fiberoptic system. *Child Nerv Syst* 9: 470-473, 1993.
 - 21) Ghajar JBG, Hariri RJ, Patterson RH: Improved outcome from traumatic coma using only ventricular cerebrospinal drainage for intracranial pressure control. *Adv Neurosurg* 21: 173-177, 1993.
 - 22) Gunst M, Sperry JL, Ghaemmaghami V, Gunst RF, Friesse RS, Frankel HL, Gentilello LM, Shafl S: Increased risk of death associated with hypotension is not altered by the presence of brain injury in pediatric trauma patients. *Am J Surg* 194: 741-745, 2007.
 - 23) Hutchison J, Ward R, Lacroix J, Hébert P, Skippen P, Barnes M, Meyer P, Morris K, Kirpalani H, Singh R, Dirks P, Bohn D, Moher D: Hypothermia pediatric head injury trial: the value of a pretrial clinical evaluation phase. *Dev Neurosci* 28: 291-301, 2006.
 - 24) Hutchison JS, Ward RE, Lacroix J, Hébert PC, Barnes MA, Bohn DJ, Dirks PB, Doucette S, Fergusson D, Gottesman R, Joffe AR, Kirpalani HM, Meyer MG, Morris KP, Moher D, Singh RN, Skippen PW: Hypothermia therapy after traumatic brain injury in children. *N Engl J Med* 358: 2447-2456, 2008.
 - 25) Ichord RN, Naim M, Pollock AN, Nance ML, Margulies SS, Christian CW: Hypoxic-ischemic injury complicates inflicted and accidental traumatic brain injury in young children: the role of diffusion-weighted imaging. *J Neurotrauma* 24: 106-118, 2007.
 - 26) Jagannathan J, Okonkwo DO, Dumont AS, Ahmed H, Bahari A, Prevedello DM, Jane JA Sr, Jane JA Jr: Outcome following decompressive craniectomy in children with severe traumatic brain injury: A 10-year single-center experience with long-term follow up. *J Neurosurg* 106 (4 Suppl Pediatrics): 268-275, 2007.
 - 27) Jagannathan J, Okonkwo DO, Yeoh HK, Dumont AS, Saulle D, Haizlip J, Barth JT, Jane JA Sr, Jane JA Jr: Long-term outcomes and prognostic factors in pediatric patients with severe traumatic brain injury and elevated intracranial pressure. *J Neurosurg Pediatr* 2: 240-249, 2008.
 - 28) Khanna S, Davis D, Peterson B, Fisher B, Tung H, O'Quigley J, Deutsch R: Use of hypertonic saline in the treatment of severe refractory posttraumatic intracranial hypertension in pediatric traumatic brain injury. *Crit Care Med* 28: 1144-1151, 2000.
 - 29) Kraus JF, McArthur DL, Silverman TA, Jayaraman M: Epidemiology of brain injury. in Narayan RK, Wilberger JE Jr, Povlishock JT (eds): *Neurotrauma*. New York, McGraw-Hill, 1996, pp.13-29.
 - 30) Lewis RJ, Yee L, Inkelis SH, Gilmore D: Clinical predictors of post-traumatic seizures in children with head trauma. *Ann Emerg Med* 22: 1114-1118, 1993.
 - 31) Liesemer K, Bratton SL, Zebrock CM, Brockmeyer D, Statler KD: Early post-traumatic seizures in moderate to severe pediatric traumatic brain injury: Rates, risk factors, and clinical features. *J Neurotrauma* 28: 755-762, 2011.
 - 32) Marion DW, Penrod LE, Kelsey SF, Obrist WD, Kochanek PM, Palmer AM, Wisniewski SR, DeKosky ST: Treatment of traumatic brain injury with moderate hypothermia. *N Engl J Med* 336: 540-546, 1997.
 - 33) Martinon C, Duracher C, Blanot S, Escolano S, De Agostini M, Périé-Vintras AC, Orliaguet G, Carli PA, Meyer PG: Emergency tracheal intubation of severely head-injured children: Changing daily practice after implementation of national guidelines. *Pediatr Crit Care Med* 12: 65-70, 2011.
 - 34) Morris KP, Forsyth RJ, Parslow RC, Hawley CA: Intracranial pressure complicating severe traumatic brain injury in children: Monitoring and management. *Intensive Care Med* 32: 1606-1612, 2006.
 - 35) Muizelaar JP, Marmarou AM, DeSalles AA, Ward JD, Zimmerman RS, Li Z, Choi SC, Young HF: Cerebral blood flow and metabolism in severely head-injured children. Part 1: Relationship with GCS score, outcome, ICP, and PVI. *J Neurosurg* 71: 63-71, 1989.
 - 36) 中村紀夫, 平川公義, 橋爪敬三: 小児頭部外傷の剖検所見と臨床. *脳と発達* 2: 23-30, 1970.
 - 37) Narayan RK, Kishore PR, Becker D, Ward JD, Enas GG, Greenberg RR, Domingues Da Silva A, Lipper MH, Choi SC, Mayhall CG, Lutz HA 3rd, Young HF: Intracranial pressure: to monitor or not to monitor? *J Neurosurg* 56: 650-659, 1982.
 - 38) 日本神経外傷学会: 重症頭部外傷治療・管理のガイドライン 第2版. 東京, 医学書院, 2007.
 - 39) Palmer AM, Marion DW, Botscheller ML, Swedlow PD, Styren SD, DeKosky ST: Traumatic brain injury-induced excitotoxicity assessed in a controlled cortical impact model. *J Neurochem* 61: 2015-2024, 1993.
 - 40) Pfenninger J, Kaiser G, Lüttsch J, Sutter M: Treatment and outcome of the severely head injured child. *Intensive Care Med* 9: 13-16, 1983.
 - 41) Pittman T, Bucholz R, Williams D: Efficacy of barbiturates in the treatment of resistant intracranial hypertension in severely head injured children. *Pediatr Neurosci* 15: 13-17, 1989.
 - 42) Polin RS, Shaffrey ME, Bogaev CA, Tisdale N, Germanson T, Bocchicchio B, Jane JA: Decompressive bifrontal craniectomy in the treatment of severe refractory posttraumatic cerebral edema. *Neurosurgery* 41: 84-92, 1997.
 - 43) Prabhakaran P, Reddy AT, Oakes J, King WD, Winkler MK, Givens TG: A pilot trial comparing cerebral perfusion pressure-targeted therapy to intracranial pressure-targeted therapy in children with severe traumatic brain injury. *J Neurosurg* 100 (5 Suppl Pediatrics): 454-459, 2004.
 - 44) Schwartz ML, Tator CH, Rowed DW, Reid SR, Meguro K, Andrews DF: The University of Toronto Head Injury Treatment Study: A prospective, randomized comparison of pentobarbital and mannitol. *Can J Neurol Sci* 11: 434-440, 1984.

- 45) Shapiro K, Marmarou A: Clinical application of the pressure-volume index in treatment of pediatric head injuries. *J Neurosurg* **56**: 819-825, 1982.
- 46) Stein SC, Spittell C: The Head Injury Severity Scale (HIS): A practical classification of closed-head injury. *Brain Inj* **9**: 437-444, 1995.
- 47) Taylor A, Butt W, Rosenfield J, Shann F, Ditchfield M, Lewis E, Klug G, Wallace D, Henning R, Tibballs J: A randomized trial of very early decompressive craniectomy in children with traumatic brain injury and sustained intracranial hypertension. *Childs Nerv Syst* **17**: 154-162, 2001.
- 48) Tilford JM, Simpson PM, Yeh TS, Lensing S, Aitken ME, Green JW, Harr J, Fiser DH: Variation in therapy and outcome for pediatric head trauma patients. *Crit Care Med* **29**: 1056-1061, 2001.
- 49) Tontisirin N, Armstead W, Waitayawinyu P, Moore A, Udomphorn Y, Zimmerman JJ, Chesnut R, Vavilala MS: Change in cerebral autoregulation as a function of time in children after severe traumatic brain injury: A case series. *Child Nerve Syst* **23**: 1163-1169, 2007.
- 50) Van Harreveld A, Fifkova E: Light- and electron-microscopic changes in central nervous tissue after electrophoretic injection of glutamate. *Exp Mol Pathol* **15**: 61-81, 1971.
- 51) Vavilala MS, Tontisirin N, Udomphorn Y, Armstead W, Zimmerman JJ, Chesnut R, Lam AM: Hemispheric differences in cerebral autoregulation in children with moderate and severe traumatic brain injury. *Neurocrit Care* **9**: 45-54, 2008.
- 52) 横田裕行: ICU 管理. 重森 稔, 片山容一, 小林士郎, 徳富孝志 (編): 小児頭部外傷. 東京, 医学書院, 1996, pp.176-192.

要 旨

小児重症頭部外傷ガイドライン

荒木 尚 師田 信人

小児重症頭部外傷に対する診療は、発達段階にある中枢神経組織の解剖学的、生理学的特徴を踏まえて行うことが大切である。特に病院搬入前の呼吸・循環の状態が患児の予後に強く影響するため、受傷現場からの救急初期治療の意義は大きい。このため標準的手法を掲載したガイドラインは、治療の質の向上や医療者の教育における有用性に期待をもたれている。成人頭部外傷に比較して比較的頻度が少なく、臨床研究結果のエビデンスレベルが十分ではない場合もあるが、外傷の精神神経学的影響など、高次脳機能や画像診断法をはじめとした課題について今後も検討される必要があろう。

脳外誌 20 : 809-817, 2011