

JSPR

Vol.28 No.1 2012

Journal of
Japanese Society of Pediatric Radiology

日本小児放射線学会雑誌



特集／外傷

総説

症例報告

日小放誌
J.J.S.P.R.

日本小児放射線学会

<http://www.jspr-net.jp/>



Journal of Japanese Society of Pediatric Radiology

JJSPR
VOL.28 NO.1
2012

Edited by

Editor in Chief : Eiji Oguma, M.D.

Editorial Board :

Hiroshi Kamiyama, M.D.

Masahiko Urao, M.D.

Masataka Higuchi, M.D.

Takeshi Mouri, M.D.

Tatsuo Kono, M.D.

Yutaka Tanami, M.D.

CONTENTS

Special Articles *Pediatric Trauma*

- Introduction Eiji Oguma 3
1. Diagnostic and interventional radiology in pediatric abdominal trauma ;
How to manage the traumatized patient with imaging Junichi Matsumoto, et al. 4
2. Traumatic brain injury in children Takashi Araki 14
3. Facial and temporal bone trauma in children Tatsuo Kono 27
4. Essentials of pediatric fractures Akari Makidono, et al. 38

General Remarks

- Low radiation dose protocol for abdominal CT : Usefulness of low kvp scan and
hybrid iterative reconstruction algorithm (iDoseTM) Takeshi Nakaura 45

Case Reports

- Two rare cases of hypothalamic hamartomas associated with central nervous
system malformations Kensuke Inamura, et al. 51



目 次

特集 外 傷

- 特集を企画するにあたって 小熊栄二 3
1. 腹部外傷の画像診断とIVR：画像情報をどのように得て、どう生かすのか？
..... 松本純一，他 4
2. 頭部外傷 荒木 尚 14
3. 小児の顔面，側頭骨外傷 河野達夫 27
4. 小児骨折の勘どころ：四肢の骨折を中心として 槇殿文香理，他 38

総 説

- CTの被ばくおよびLow-Dose CTのための工夫 中浦 猛 45

症 例 報 告

- 視床下部過誤腫に脳奇形の合併を認めた稀な2例 稲村健介，他 51

平成23年度第2回日本小児放射線学会理事会	56
平成24年度第1回日本小児放射線学会理事会	59
平成24年度日本小児放射線学会代議員会	62
平成24年度第2回日本小児放射線学会(新理事会)	68
日本小児放射線学会規約・細則	70
日本小児放射線学会雑誌投稿規定	74

特集

外 傷

Pediatric Trauma

特集を企画するにあたって

小熊 栄二

埼玉県立小児医療センター 放射線科

Eiji Oguma

Department of Radiology, Saitama Children's Medical Center

本号では「外傷」の特集を組み、4人の先生方にご寄稿をいただいた。大変お忙しい中、快く執筆をお引き受けくださった先生方に深い感謝の意を捧げたい。

頭部外傷についてご寄稿いただいた荒木尚先生は、数多くのご著作・ご講演を通じてご承知の方が多いと思われるが、日本医科大学救急医学科で研鑽を積み、国立成育医療センター脳神経外科を経て、現在足利赤十字病院救命救急センターでご活躍中であり、日本脳神経外傷学会の「重症頭部外傷治療・管理のガイドライン」作成の小児の章を担当されている。今回、「頭部外傷」全体というあまりにも広漠なテーマでお引き受けいただいた。限られた紙幅の中で、本当に数多くの損傷の形態が、脳神経外科医らしい病態生理への理解や治療経験に裏打ちされて詳細に述べられている。この一編を読むことで、小児の頭部外傷の特殊性について、相当な理解が得られる論説になっている。頭部外傷に触れる機会の少ない学会員の方にも是非一読をお奨めしたい。

腹部外傷の項をお願いした松本純一先生は、聖マリアンナ医科大学放射線医学教室で救急放射線部門の責任者を務められ、国立病院機構災害医療センターでもご活躍中であり、わが国を代表する救急放射線科医の一人である。松本先生に執筆をお願いした腹部外傷では、生命の危険を招きかねない出血の発見と対処がなによりも重要な課題となる。この課題に対する実践的な読影方法の解説をいただいている。これは数多くの外傷事例のご経験のエッセンスが結晶したものであり、これを用いることによる腹部外傷への対応力の確実な向

上が見込めるものである。

そして東京ERの看板を掲げ積極的な小児救急医療を行っている都立小児総合医療センターからは、お二人の小児放射線科医、河野達夫先生と横殿文香理先生にご寄稿をいただいた。

河野先生は、現在本学会の理事を務められ、その実力と業績は本学会員には周知のところとなっている方である。今回、ご寄稿いただいた顔面・側頭部外傷は極めて詳細な記述がなされている。この水準の読影を日常診療で行っていくのは容易なことではないが、逆にここに深く広い世界があったのだと気づかされ、学習の意欲を呼び覚まされる一編である。

四肢の骨折についてご執筆をお願いした横殿先生は、若手気鋭の小児放射線科医である。四肢の骨折は、実際の診療は診断から治療までほぼ専一に整形外科医の手で行われている。しかしながら画像診断に携わるものとしては知識の備えをしないでは許されない、正直に言えば少し気の重い分野である。ここで横殿先生には四肢の骨折に必要な知識を手堅くコンサイスにまとめていただいた。少しの時間を確保して是非知識の再確認をされることをお奨めしたい。

今回お願いをした4人の先生方は、その有能さ故に様々な方面でご活躍中であり、大変ご多忙な日々を過ごされている。依頼を差し上げるのも正直ためらわれたが、いただいた論説を拝読すると、やはり先生方をお願いしてよかったと思う。ご寄稿にここであらためて深い感謝の念を捧げたい。

特集 外 傷

1. 腹部外傷の画像診断とIVR： 画像情報をどのように得て，どう生かすのか？

松本純一¹⁾，一ノ瀬嘉明¹⁾，桑原秀次²⁾，服部貴行¹⁾，森本公平¹⁾
山下寛高¹⁾，濱口真吾，中島康雄³⁾，平 泰彦

聖マリアンナ医科大学 救急医学，国立病院機構災害医療センター 放射線科¹⁾
岐阜大学附属病院 小児科²⁾，聖マリアンナ医科大学 放射線医学³⁾

Diagnostic and interventional radiology in pediatric abdominal trauma ; How to manage the traumatized patient with imaging

Junichi Matsumoto, Yoshiaki Ichinose¹⁾, Shuji Kuwabara²⁾
Takayuki Hattori¹⁾, Kohei Morimoto¹⁾, Hirotaka Yamashita
Shingo Hamaguchi, Yasuo Nakajima³⁾, Yasuhiko Taira

Department of Emergency and Critical Care Medicine, St. Marianna University School of Medicine

Department of Radiology, National Hospital Organization Disaster Medical Center¹⁾

Department of Pediatrics, Gifu University Hospital²⁾

Department of Radiology, St. Marianna University School of Medicine³⁾

Abstract

Time means life in trauma care. To provide better trauma care it is essential for the team to share the concept of time-conscious trauma care.

The primary evaluation of the obtained CT images should be focused on the findings associated with critical injuries such as aortic injury, hemothorax, pneumothorax, hemoperitoneum, pelvic and spinal fractures, and injuries of solid organs and hollow viscous ones. Further evaluation for less critical injuries should be done in the later phase of the primary trauma care.

The interventional radiology (IR) procedures also should be time-conscious and includes the concept of damage control. IR in trauma is different from other emergency IR procedures in urgency.

Indications of therapeutic options in trauma may vary depending on the circumstances of individual hospitals. There are thought to be 7 important factors to consider in making management decisions: 1) Age, 2) Number and space of bleeding, 3) Presence or absence of trauma-related fibrinolytic DIC, 4) Past and present history of coagulopathy and medication, 5) Time from injury, 6) Form of injury, 7) Presence or absence of shock after injury.

Trauma care will be better with aggressive and appropriate use of radiology.

Keywords : 脾損傷, 肝損傷, DCIR (Damage Control Interventional Radiology)

はじめに

よりよい外傷診療を提供するためには、救急外来を担当する医師・看護師、診療放射線技師、輸血部を含む臨床検査部門、麻酔科・外科を含む手術室部門など、関連する全ての部門が、垣根を越えて時間を強く意識した診療理念を共有することが不可欠である。MDCT (Multi-detector row CT) の導入が進み、外傷診療における画像診断の有用性は格段に高くなったと言えるが、しかしそれでも、画像診断で時間を失うことが極めて危険な状況になることは強く意識しておく必要がある。外傷診療における画像診断の有用性がことさら強調されてはいるが¹⁾、だからこそ、患者から直接得られる情報をもとに迅速に対処する能力を高め、維持しておくことが大切である。

本稿では、外傷診療における画像診断、特にCTの位置づけと腹部臓器損傷における治療方針決定に際して検討すべき事項や、Interventional Radiology (IR：日本ではIVR) を選択枝として選ぶ際に考えるべきことなどについて、小児の特殊性を加味して解説した。

外傷診療は時間が命

多発外傷、とりわけ重症多発外傷における時間の重要性は、他のどのような疾患においてより高く、文字通り一分一秒を大切に診療しなければならない。それは、患者の受け入れに始まり、全てのプロセスにおいて徹底されていなければならない。部署を超えて診療哲学が共有され、個人個人が意識的に行動できなければ、達成できない次元のものである。画像診断を例に取れば、外傷診療における画像検査・診断は、従来のそれとは異なる概念のものでなければならない。すなわち、時間を強く意識した効率的なものでなければならないのである。ポータブルの胸部骨盤単純X線写真やCTの撮像方法、読影の方法、情報共有の仕方、IVRの適応決定から実際の止血作業など、全ての段階において、迅速に対処できるよう、様々な工夫が求められる。いくつかの方法については本稿でも解説しているが、外傷診療における画像検査からIVRの全体のなかでの個別の事項については、細かく触れることができないので割愛する。本稿で

書かれていることは、文章を読んだだけでは理解しにくいと思われるが、実症例に当てはめて検討することで理解が深まることと思う。

外傷診療における 画像診断とIVRの位置づけ

短時間で詳細な情報を提供できるMDCTが外傷診療にもたらすインパクトは非常に大きい。最大の関心事である活動性の出血を伴う損傷の有無、数、程度を短時間で把握できるからである。実際の診療においては、循環動態が不安定な患者に原則としてCTは行わず、初期診療の最初のステップで行われるポータブル胸部骨盤単純X線写真、迅速簡易超音波検査 (Focused Assessment with Sonography for Trauma : FAST) の結果や受傷機転などから出血部位を想定して手術を先行して行う。一方、CTを撮像することでより短時間で患者の容態を安定化させることにつながると判断できる場合や、ハード面でもソフト面でも環境が整備されている施設では、CTが行われることもある。事実、CTが初療室の中に備えてあり、初期診療そのものをCT台の上で開始する施設もある²⁾。それだけ、CTのもたらす情報が治療方針決定に果たす役割は大きいのは事実である。IVRに関しては、その有用性を示唆する論文が既に多く出されており³⁾、より重症な症例に対する有用性も日本などから示されているものの⁴⁾、画像診断同様、エビデンスレベルの高い論文は出ていないのが現状である。時間の要素が重要な外傷診療において、症例数の多い米国では手術がIVRよりも早く行える環境下にあり、IVRの有用性を強調する論文は今後も出にくいと思われる。しかし一部の施設ではIVRの応用に関して変化が見られるのも事実ではある。日本において外傷診療を積極的に行っている施設では手術のための優秀なスタッフはいても、IVRはオンコール体制で整備が遅れていることが多いのが現状である。IVRの持つポテンシャルが高いことは意識されているが、それを実践し続けるためのシステムが、日本にも米国にも極めて少ない、というのが現状のようである。

外傷画像診断の実際

外傷初期診療において最も重要なことは、「今出ている血を止めること」である。画像診断もこのことを念頭に置いて行われるべきである。即ち、今出ている活動性出血の有無、あるならばその場所と数、各々の程度を速やかに捉えることが画像診断の最重要課題となる。血腫、血性腹水、血胸を見つけることは活動性出血の部位を想定するきっかけとなるが、それらは結果であって、重要なことは出血点はどこで、現在も出ているか否か、ということを知ることである。

CTを行う場合には活動性の出血や血管損傷を捉えるために、造影剤を使用したダイナミック撮影が必要となる(例えば腹部の撮像タイミングが、動脈優位相：造影剤注入開始から30秒後、実質相：同100秒後もしくは遅延相：同150秒後)。通常の救急疾患の画像検査・診断と異なり、受傷機転から多発外傷が想定される場合には、症状や傷のある場所に関係なく、全身をくまなく検査することが求められる(Trauma Panscanあるいは外傷パンスキャン)。CTでは、頭部単純CTを撮影した後、全身の造影CTが行われることになる。どのような症例にどこまでのプロトコルを行うべきかについては、未だ結論は出ておらず、今のところ大量の「所見なしスタディ」を生む結果にもなっている施設も多く見受けられ、小児においてはその適応を慎重に考える必要がある。検査までの間に循環動態を落ち着かせる必要のあった症例や、受傷機転がいわゆる高エネルギー損傷(Table 1)が想定される場合には、頭部単純CTとそれに引き続いて全身の造影ダイナミック撮影を撮ることが

望ましいと思われる。

しかし小児の場合、自動車やバイクを運転して交通事故に遭うことはなく、高所から飛び降りる例も極めて少ない。高エネルギー損傷の例としては、自動車にはねられるか自動車事故の同乗者であることが多い。多くの外傷は、転倒したり喧嘩をするなどして体の一部を強く打撲する、といった受傷機転によると思われる。受傷機転をできるだけ正確に把握し、闇雲に検査を行わない姿勢が小児では特に求められる。

読影に際しても、緊急度を意識した読影を心がける。検査時初めて画像を見る場合には、まず、出血性病態と関連する緊急度の高い所見を検索する。すなわち、①頭部で緊急開頭が必要な外傷性出血・血腫を確認し、②胸部では大動脈損傷を評価する目的に弓部遠位部の血管の輪郭と血腫を確認、③両側血胸を探しながら、④肺底部では腹側(臥位では最も空気が溜まりやすい部位)で気胸を確認、さらに腹部ではまず最下部まで降りてから⑤膀胱直腸窩において血腫を確認した後、⑥骨盤骨折、⑦腰椎・横突起の骨折などを確認しつつ受傷機転を想定する。引き続いて⑧脾臓、肝臓、腎臓、膵臓など実質臓器の損傷を血腫と共に検索し、最後に⑨腸管の浮腫像や腸間膜内の血腫を見ていきながら、再び骨盤腔へ降りていく(Fig.1)。このようにしてざっと全身を5分程度で検索し、緊急度の高い病態がありそうかなさそうかを、診療チーム全体で共有するようにする。この時には、血腫の存在部位と共に活動性出血の所見、即ち造影剤の血管外漏出像(extravasation)と仮性動脈瘤形成(pseudoaneurysm)を中心に検索していく訳であるが(Fig.2)、この後引き続いて行う第2段階の読影においても、損傷や血腫のある部位を中心に、受傷機転を想定しながら、より広い範囲で活動性出血を検索していく。活動性出血を中心に頸椎損傷など緊急治療の対象となる損傷の検索を終えたなら、さらに緊急度の低い細かな損傷の検索を行っていく。この第3段階の読影においては、頭の前から足の先まで検査されている部位全てを観察していく必要があり、ここでは逆に受傷機転にとらわれずにくまなく評価していく姿勢が求められる。

Table 1 高エネルギー損傷の例

3～6m以上の高所からの転落
鉄道や車に跳ねられた歩行者、自転車
高速道路上での交通事故
搭乗空間に高度な変形があった車両事故
傷病者が車外放出された車両事故
救出に20分以上を要した車両事故
横転した車両事故
体幹を重圧で挟まれた外傷 など

※明確な定義はなく、救助者が現場の状況から判断する

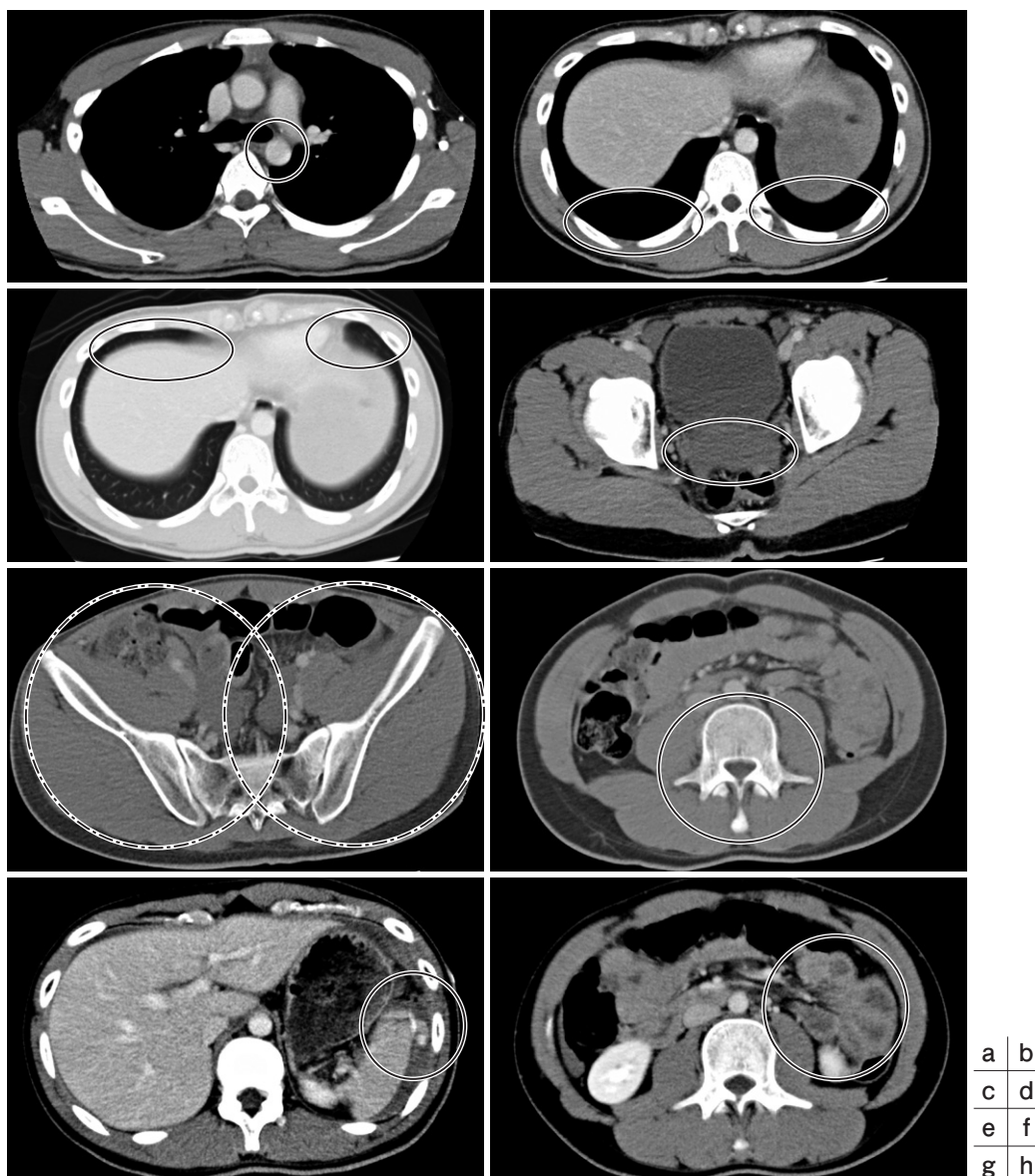


Fig.1 外傷CT読影の実際

- a: 左肺動脈レベルで大動脈の輪郭と縦隔血腫を確認。大動脈損傷のほとんどはここで見られるため、この部で所見がなければ大動脈損傷のほとんどは否定できる(本例では-)。
- b: 肺底部横隔膜レベルにまで降りてくる過程で血胸の有無を確認(本例では-)。
- c: 肺底部横隔膜のレベルでは、臥位の際に最も高い位置となる腹部部分に空気が溜まりやすく、この部で気胸をチェックするのが効率的である(本例では-)。
- d: 肺底部の次は一気に骨盤腔まで降りていき、臥位で最も低位となる膀胱直腸窩で腹腔内血腫を確認する(本例では+)。ここで血腫が確認されなければ、多量の腹腔内血腫はない可能性が高い。術後などで癒着がある場合には血腫が降りてこないため注意。
- e, f: 骨盤腔から上がっていく過程で骨盤骨折と、椎体・横突起の骨折を確認し、受傷機転を想像する(本例では-)。
- g: 腹腔内および後腹膜実質臓器損傷を順次確認。打撲部側(腹腔内臓器)から見ていくとよい(本例では脾臓外側にextravasationが+)。
- h: 上腹部レベルの臓器を確認したら再び骨盤腔へ向かって腸管の腫脹や腸間膜血腫を見ていく(本例では、打撲部側の腸管壁腫張疑い)。

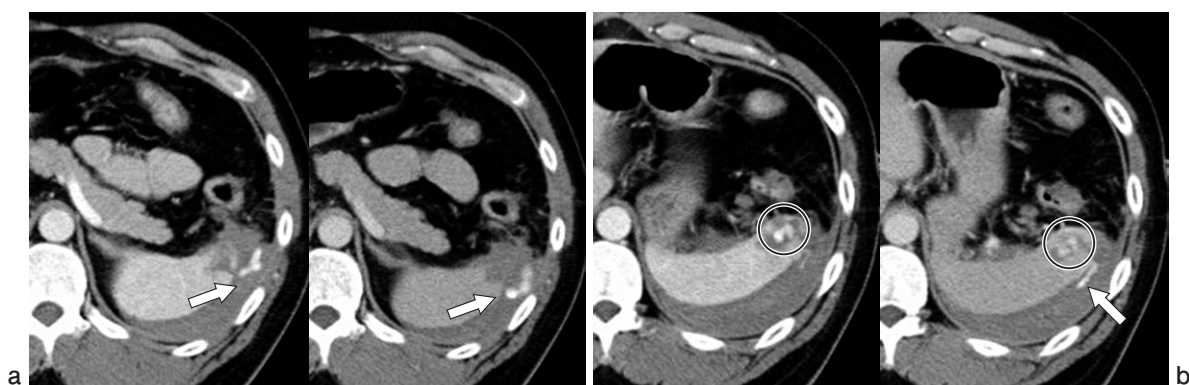


Fig.2 脾損傷における造影剤の血管外漏出像(extravasation)と仮性動脈瘤形成(pseudoaneurysm)

a:動脈優位相(左)から実質相(右)にかけて、時間を追うごとに形状変化する脾表面から腹腔内への血管外漏出像を認める(矢印). Free spaceへの漏出であり、非常に危険な血管損傷の所見である. 循環動態が安定していたとしても、直ちに止血術を行うべき所見である.

b:動脈優位相(左)から実質相(右)にかけて、形状は変わらずに造影効果の弱くなる分節状・結節状の染まりとして仮性動脈瘤形成(pseudoaneurysm)が認められる(印). 実質内の血管損傷であるが、脾損傷に伴ってみられる場合には通常速やかに塞栓する. 脾外側にはより下方の損傷部からの血管外漏出像(矢印)が認められる.

Table 2 どのようなspaceに出血しているか?

緊急度低		tight space	若年者の筋肉内, 肝(実質内・被膜下)
		loose space	後腹膜腔, 縦隔, 高齢者の筋肉内, 脾(実質内・被膜下)
緊急度高		free space	胸腔, 腹腔, 高齢者の後腹膜腔

tightよりはloose, looseよりはfreeな空間への出血が, より緊急度が高いと判断する

※同じ「筋肉内」であっても高齢者に比べて若年者はよりtightな組織と考えられる. 小児では成人で推定される組織密度より一段緊急度が低い方へ, すなわち成人におけるloose space/free spaceはそれぞれ, 小児ではtight space/loose space相当するものとして考えられる場合がある.

※通常は緊急度が低いと判断するtight spaceの出血であっても, 凝固障害がある場合は, 自然止血を期待したい状況となる. したがってtight spaceやloose spaceであっても, 凝固障害を伴う状況であれば通常より一段緊急度を高く見積もって積極的に止血術の適応を判断すべきである.

※tight spaceの出血が全て緊急度が低いというわけではない. 自然止血を期待しうる程度に受傷後時間がたっているにも関わらずtight spaceでの出血が遷延している状況, あるいは, 全身に強いエネルギーが及んだ鈍的外傷において, tight space(筋肉内など)の出血が全身に多発してみられる状況は, 凝固障害の存在を懸念させる所見である. この場合のtight spaceの出血は, 極めて緊急度が高いと考えるべきであり, 迅速な凝固補填と止血術(手術・IVR)を要する.

外傷診療における治療方針決定の実際

循環動態が不安定で胸腔や腹腔に明らかに出血が認められる場合にはCTは行わず, 緊急で手術を行う. しかし, 循環動態が安定化した場合に, CTが行われ, 準緊急手術やIVR, 保存的経過観察といった治療法を選択することになる. 意識が清明であったり, 収縮期血圧が90 mmHg以上というだけで循環動態が安定していると解釈してしまうと, 診療のスピードが遅くなりがちであるが, 治

療方針決定まではチーム全体が全速力で動く必要がある(必要があればその後も). 治療方針を決定する際には, 画像情報も合わせて以下の7項目を評価していくとよい.

①年齢

小児の場合当然若年ということになり, このことは体や臓器, 組織の弾性が高いことや, 組織間の間隙が「密」であることを意味する. すなわち, 受けた外力を組織の「破壊」で消費せずに, 様々



Fig.3 活動性出血を伴う肝損傷. 公園で走っている際に転倒し腹部を打撲して受傷. 検査時循環動態は安定

- a: 肝S4から肝表に向かう血管外漏出像を認める(矢印).
 b: 造影剤は肝被膜下に流れ込んで貯留している(*). 正中付近の肝表では被膜外へ漏れ出る造影剤が線状に指摘可能である(矢印).
 c: 腹腔内には大量の血腫があり(*), 被膜断裂から腹腔内への出血を伴う肝損傷であることが確認できる. 一方, 肝表から漏れた造影剤は腹腔内ではなく, さらに外側の腹腔外へと漏れている(矢印). すなわち, 活動性の出血は, 検査時には, 肝被膜下という本来であればtightなspaceと腹腔外というlooseなspaceに出ていることになる. 実際には被膜断裂があることから, 肝被膜下はloose space以下の緩さと考えるべきであるが, 仮にこれだけの出血がfree spaceへ漏れ出ていたならば, 循環動態は保たれないはずである. 活動性出血の源は中肝動脈と診断した.
 d, e: 手術室の準備を待ちながら, 既に準備の整っていた血管撮影室へCT室から直接移動. 中肝動脈のextravasation(丸印)を確認, n-butyl-2-cyanoacrylate (NBCA)を用いて手技開始20分後には止血を完了した(点線丸印). 本来であれば手術を優先させるべき症例かもしれないが, 画像所見から正確なターゲットの位置と現段階での時間的猶予を推察し, 各部門の準備状況を鑑みた上での判断であった. なお, 腹部打撲の単発損傷であり, 多発外傷に伴う広範な組織挫滅から来る線溶亢進型DICには至っていなかった.

な形で吸収することでも消費できるため、受傷外力の大きさの割に損傷が軽微であったり、筋肉内や後腹膜などの比較的密な領域での出血が広がりにくいことが考えられる。

②活動性出血の部位、数とその程度

出血が、例えば腹腔内のようなfree spaceに漏れ出ているのか、後腹膜のようなloose spaceに出ているのか、あるいは筋肉内のようなtight spaceに出ているのかを判定することは、今見られている出血の緊急度を考える上で重要である (Table 2)。凝固が保たれている状況下でのtight spaceへの出血は止血が期待できるが、凝固が崩れているかfree spaceへの活動性出血では、一刻も早い止血を目指さなくてはならない。一方、小児では同じfree spaceといっても、成人に比べてtightさに差があるようである。即ち、free spaceであるはずの腹腔でも、成人の後腹膜 (loose space) と同程度である場合があり得る (Fig.3)。したがって、同じ腹腔内の損傷で、成人ではIVRや手術が検討される場合でも、小児では保存的にみることができ症例は多く経験される。これには、凝固能の要素も関連している可能性はあり、推察の域を出ない。

もう一つ、活動性出血とspaceに関して注意すべきことがある。Free spaceでの出血は血圧の不安定化に大きく影響するが、活動性出血のあるspaceがtight spaceかloose space内であると、輸液による血管内容量の補完が上回って、実際には活動性に出血しているのに循環動態は一見崩れていないように見えてしまう、ということがあり得る。循環動態が安定していても、活動性出血が続いている可能性を頭に浮かべながら早い段階で迅速にCTを行い、活動性出血の有無を判定するようになりたい。

③凝固障害の有無

ここでいう凝固障害は、広範な組織挫滅を伴う鈍的外傷による線溶亢進型の凝固障害である⁵⁾。ここでは詳細は割愛するが、高エネルギーの鈍的外傷症例においては、来院までの出血量に関わらず、凝固障害 (線溶亢進型DIC: disseminated intravascular coagulation) を来することが知られており、その存在を知ることがマネジメント上非常

に重要である。具体的には来院時の採血でFDP (fibrin/fibrinogen degradation product) やD-dimer (DD), fibrinogenを測定し、さらにその経時的推移を評価する。FDP/DD比2以上 (FDP 64.1 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 以上、経験的にはFDP 100 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 以上、D-dimer 50 $\mu\text{g}/\text{mL}$ 以上) は、鈍的外傷による組織挫滅と関連した線溶亢進型DICありと考え、手術やTAE (transcatheter arterial embolization) といった物理的止血と共に、FFPの投与など凝固破綻に対する処置を急ぐ必要がある。Fibrinogen値では、190 mg/dL以下は既に危険とする意見や、150 mg/dL以上に保とうという意見などがあるが、100 mg/dL以下は非常に危険と言える。いずれにせよ30分ごとに凝固データを測定することで凝固破綻に対して早期に対処できるようにすることが重要である。こうした病態を把握する上では、広範な組織挫滅の有無を知る必要があるが、受傷機転からどのようなエネルギーが働いたかを知ることは大変有用で、来院時からできる限り詳細な受傷機転を知るように努め、凝固障害の存在を予測するようにする。受傷機転は画像からもある程度推察することは可能である。

④薬物服用歴、既往歴

成人と異なり、凝固障害を来す薬物の服用歴や既往歴があることは小児では少ないが、意識して聴取することは大切である。

⑤受傷からの時間経過

循環動態や血液生化学データ、画像所見を解釈する場合に、受傷からどれだけ時間が経っているかを意識することは、その段階での重症度を正確に把握する上でも、その後の経過を予測する上でも重要である。

⑥損傷形態

臓器損傷が大量出血の原因となりそうかどうかを評価するためには、前述した「出血しているspaceのtightさ」を理解することと同様、損傷形態を把握する必要がある。損傷形態として注目すべきは、血管損傷はあるのか、あるのなら血管外漏出なのか仮性動脈瘤なのか、損傷臓器に被膜損傷はあるのか、などが検討項目となる。中島らは

Table 3 CT所見に基づく臓器損傷分類

CT – Based Grading for Splenic Injury

Grade	Description of Injury	Management
I	被膜下血腫，裂傷または実質内血腫・損傷 < 1 cm (厚さ，深さまたは最大径)	保存的 経過観察不要
II	被膜下血腫，裂傷または実質内血腫・損傷 = 1 cm～3 cm (厚さ，深さまたは最大径)	保存的，経過観察
III	被膜断裂 被膜下血腫，裂傷または実質内血腫・損傷 ≥ 3 cm (厚さ，深さまたは最大径)	厳重な経過観察 被膜断裂がある場合はIVRを考慮
IV	実質内もしくは被膜下の活動性出血，仮性動脈瘤および動静脈瘻 粉碎型損傷：3つ以上の造影される実質に粉碎されたもの	IVR (開腹術) を考慮
V	腹腔内へ注ぐ活動性出血	開腹術 (IVR) を考慮

CT – Based Grading for Hepatic Injury

Grade	Description of Injury	Management
I	被膜下血腫 裂傷または実質内血腫・損傷 < 1 cm (深さまたは最大径)	保存的 経過観察不要
II	裂傷または実質内血腫・損傷 > 1 cm (深さまたは最大径)	保存的，経過観察
III	被膜断裂を伴わない実質内もしくは被膜下の活動性出血，仮性動脈瘤 および動静脈瘻 門脈，肝静脈ないしはIVC周囲に達する血腫・損傷	厳重な経過観察 またはIVRを考慮
IV	被膜断裂部の実質内もしくは被膜下の活動性出血，仮性動脈瘤および 動静脈瘻	IVR (開腹術) を考慮
V	腹腔内へ注ぐ活動性出血 離断型損傷 門脈または肝静脈一次分枝以内の損傷	開腹術 (IVR) を考慮

CT所見に基づく臓器損傷分類を提唱しており，本分類はマネジメントとの整合性を意識したものとなっている (Table 3)⁶⁾。

⑦循環動態の推移(ショックの有無)

受傷からの経過でショックがあるかないとでは現在患者のおかれている状況は大きく異なると考えるべきである。とは言え，ショックがないからといって安心する材料にはならない。経過中ショックがあった場合には，現在安定しているように見えても，危険な状況と考え，活動性出血の有無を最速で評価しなければならない。

上記の7項目を迅速に評価していく過程で，凝固破綻を予測・検知し，また出血性病態の部位と緊急度を判定して，許された時間を意識しながら，物理的止血術として手術，IVR，もしくはその両方を選択していく。どの止血術で行くかは，緊急度や施設のハード面，ソフト面での状況によ

り，必ずしも理想通りには行かない可能性は十分ある。しかし重要なことは，その施設，そのチームが，その時点での最大限の努力をもって提供できる最短の止血方法を選択することである。日頃から最短で止血を行うための部署を超えたチームワークを養っておくことが求められる。

外傷診療におけるIVR

外傷初期診療における最大の目的は最短時間での止血である。小児の臓器損傷では，多くの場合外傷エネルギーが極めて高度であることが少ないことから，活動性出血を伴っているとしても単発性で，また先に触れた体組織・臓器のtightさからも，循環動態が安定していることが多いと思われる。しかし，重症多発外傷の場合などは，通常の緊急IVRとは異なった次元で時間を意識した手技が求められ，また，体制整備も重要である。具体的には，時間内時間外を問わず病院前情報で起動される外傷画像診断・IVRチーム作り，画像診

断医・IVR医の診療早期(患者来院時か遅くてもCT撮影時)からの関与, 外来でのシース挿入, 手技上のアレンジとしては, 診断目的の動脈撮影を省いて直接損傷部位にカテーテルを向かわせる, NBCA (n-butyl 2-cyanoacrylate) など患者の凝固に依存しない塞栓物質を積極的に利用する (Table 4), 近位から比較的広い範囲の塞栓になったとしても短時間での塞栓を優先する, 一つの方法 (治療法)

や腕(術者), 道具(カテーテルなど)に長く固執しない, などが挙げられる (Damage Control Interventional Radiology: DCIRという考え方) (Table 5)⁷⁾.

まとめ

腹部実質臓器損傷を例示しながら, 外傷診療における画像診断とIVRの考え方について述べた. 小児においては, 成人とは異なるマネジメント

Table 4 外傷IVRに用いられる塞栓物質

塞栓物質	特 長	長 所	短 所
ゼラチン スポンジ	ウシやブタの皮膚や軟骨から抽出されたコラーゲンが原料. シート状のものを血管径に応じて鋏や三方活栓で細片にし, 造影剤に浸したものを注入する. 外傷の止血の際に基本となる塞栓物質.	・安価に入手できる. ・使用方法が簡便で, 経験の浅い者でも比較的安全に利用できる.	・外傷などの高度な凝固障害が存在する場合は容易に再開通を起こすことがある.
金属コイル	現在入手できるものはほぼプラチナ製である. プッシュプルタイプとデタッチャブルタイプに大別される.	・血管に適切に留置されれば強力な塞栓効果が得られる. ・コイルに付着するファイバーが血栓化を促す.	・留置に時間が掛かるので一刻を争う状況では使いにくい. ・コイル径の選択に経験を要する. ・プッシュプルタイプは回収不能. デタッチャブルタイプでもアンラベリングを引き起こすことがある.
NBCA (n-butyl 2-cyanoacrylate)	液体の永久塞栓物質で陰イオンを含む血液に触れると重合する. リピオドールとの混合比で重合するまでの時間を調節する.	患者の凝固能に依存しないため, 重傷多発外傷症例など凝固障害が疑われる場合でも即時性の塞栓効果が得られる.	・塞栓範囲をコントロールするのが難しく経験を要する. ・通常1回の使用でマイクロカテーテルは使用不可能となる.

Table 5 外傷IVR, DCIRの考え方とその実際

外傷IVR	DCIR
・常に時間を意識し, 止血が確認されるまでは診療速度を緩めない. ・病院前情報の段階, 少なくともCT撮影前から救急放射線チームが招集され, 現場での治療方針の決定に関与する. ・外来にいる段階で血管撮影用のシースを挿入する. ・CT撮影後は画像診断班とIVR手技班に分かれ, 診断班は出血部位と血管解剖を術前に把握しておく. 手技班はカテーテルや塞栓物質などを患者入室前には準備を完了させておく. ・IVR手技班は手技にのみ集中. 手技は2人以上で行い診断班からの指示のもとに塞栓を行っていく. 1本の動脈を選択し, 確認造影, 塞栓, 塞栓確認を行うのに10分を目安とする. ・多発鈍的外傷, 頭部, 肺損傷合併症例, 採血上凝固破綻が明らかの場合などにはDCIRを行う. ・手技中より凝固の速やかな補正は言うまでもなく, 救急医や麻酔医による手術に準じた全身の管理が必要.	・Mapping 目的の造影は省く. ・細かな血管の選択にはこだわらない. ある程度広い塞栓範囲となってもかまわない. ・塞栓物質は素早く確実な塞栓が得られ, かつ患者の凝固能に依存しないNBCAを積極的に使用. ・1つの道具や1人の術者にこだわらず, 短時間での変更に躊躇しない. ・必要以上に清潔操作にこだわらない. ・手技は60分を目安とする. TAEに固執せず, バルーンによる血流遮断や手術へ柔軟に移行する.

があり得るが、その理由は推察の域を出ない。

時間との戦いでもある外傷診療において、治療方針決定に必要な活動性の出血の有無、部位、数、程度を迅速に評価できるCTの役割は大きい。IVRの有用性は従来から認識されてはいるものの、それを十分に生かすシステムは確立されているとは言いがたい。画像診断、IVRとも、被ばくの低減も含めて正しく応用すれば、外傷診療の質は確実に高くなるはずである。しかしそのためには、部署を超えた診療哲学の共有が必須である。

●文献

- 1) Huber-Wagner S, Lefering R, Qvick LM, et al : Working Group on Polytrauma of the German Trauma Society. "Effect of whole-body CT during trauma resuscitation on survival: a retrospective, multicenter study." *Lancet* 2009 ; 373(9673) : 1455-1461.
- 2) Wurmb TE, Frühwald P, Hopfner W, et al : Whole-body multislice computed tomography as the first line diagnostic tool in patients with multiple injuries : the focus on time. *J Trauma* 2009 ; 66 : 658-665.
- 3) van der Vlies CH, van Delden OM, Punt BJ, et al : Literature review of the role of ultrasound, computed tomography, and transcatheter arterial embolization for the treatment of traumatic splenic injuries. *Cardiovasc Intervent Radiol* 2010 ; 33 : 1079-1087.
- 4) Hagiwara A, Murata A, Matsuda T, et al : The usefulness of transcatheter arterial embolization for patients with blunt polytrauma showing transient response to fluid resuscitation. *J Trauma* 2004 ; 57 : 271-276.
- 5) Gando S, Sawamura A, Hayakawa M : Trauma, shock, and disseminated intravascular coagulation : lessons from the classical literature. *Ann Surg* 2011 ; 254 : 10-19.
- 6) 中島康雄：文部科学省科学研究費補助金，萌芽研究(研究課題番号：17659376)，研究成果報告書(平成19年度)。2008。
- 7) 松本純一，一ノ瀬嘉明，船曳知弘：外傷診療におけるIVR－理解しておくべきポイント。即断即決できる救急IVR(第一版)，中島康雄，田島廣之，西巻 博，大友康裕編。東京，メディカルビュー社，2012，p60-61。

特集 外 傷

2. 頭部外傷

荒木 尚

日本医科大学 救急医学教室

Traumatic brain injury in children

Takashi Araki

Department of Emergency and Critical Care Medicine, Nippon Medical School Hospital

Abstract

Traumatic brain injury (TBI) is the leading cause of morbidity and mortality in children. The biomechanical properties of the child's brain and skull, the size of the child, functional characteristics of the developing brain and age specific injury pattern result in a unique distribution and pattern of brain injury. Clinical assessment is usually challenging and differs from that of adults in many aspects. The extent and distribution of injury, primary and secondary brain damage, associated neurological symptoms, and functional outcomes are also very different for each age group. Diagnostic imaging studies such as Computed Tomography (CT) and Magnetic Resonance Imaging (MRI) are special tools for early diagnosis of the exact extent and quality of TBI that will improve outcome by providing more accurate and efficient treatment options to minimize the complications related to the initial injuries. The guidelines for management of traumatic brain injury in children will be revised in Japan, although there are insufficient data to support a higher level of recommendations. In addition, the annual incidence of abusive head trauma (AHT) has been significantly increasing for over several years. And the importance of recognition of traumatic brain injury in children needs to be more emphasized among not only pediatricians but also all medical personnel who play a role in pediatric care.

Keywords : *Traumatic brain injury, Children, Management*

はじめに

頭部外傷は小児の死亡や後遺症の原因として第一位の疾患であり、成人の頭部外傷とは様々な点で大きく異なる。まず臨床的評価が困難なこと、受傷直後の神経学的状態について詳細な情報が得にくいこと、年齢や子どもの運動能力によって受傷形態が異なることなどが挙げられる。さらに、小児の頭蓋や脳神経は発達段階にあるため、損傷の好発部位や性状、進展度、一次性及び二次性損傷の割合、神経学的症状や機能的予後についても

年齢により異なる¹⁾。

CTやMRIなど画像診断は、小児頭部外傷の診断、治療、特に治療法選択において革命的な進化をもたらしている。損傷の進展度や脳損傷の性状を早期に診断することにより適切な治療法を選択でき、また致命的な合併症を抑止あるいは予防することが出来る²⁾。

近年、Diffusion-weighted imaging (DWI)、Perfusion-weighted imaging (PWI) やSusceptibility-

weighted imaging (SWI) 等の、機能的撮像法を用いることにより、機能喪失をもたらす損傷の機序、生理学的または血行力学的病態の経過を早期に分類することが可能となった。機能的撮像法により解剖学では十分説明できない神経症状についても解明が進んでいる³⁾。

本稿では、小児頭部外傷の疫学、受傷機転、外傷の特徴について解説した後、最近の治療法について考察する。

疫 学

本邦における小児外傷および頭部外傷の発生頻度について、正確な統計は渉猟する限り存在しない。これは小児の「頭部外傷」が救急科、小児科、脳神経外科の診療科にまたがった傷病であり、また、その重症度によって受診形態が異なることによって、包括的な窓口調査を行うことが困難であることが原因であろう。即ち、軽症例(意識障害を伴わないもの)は小児科や脳神経外科外来を受診することが多く、画像診断により頭蓋内等に異常を認めた場合、脳神経外科や救急センターへ搬送されることが多いといったような傾向をいう。

対して米国では年間およそ45万人の小児が頭部外傷により救急受診しており、そのうち90%が軽症にて帰宅している。一方3,000人弱が不慮の転帰をとるという報告もある⁴⁾。

頭部外傷の損傷形態と受傷機転も年齢により相違が認められる。周産期では分娩外傷が殆どであるが、歩行可能となり周囲との関係性を認識し始めるころから墜落が増加する。1～4歳までの幼児では10万人あたり130例前後が頭部外傷に関連した入院を必要としたという報告もある。学童期では事故や送り迎えの際の受傷が多い。その他、自転車による衝突、交通事故が増加し、思春期ではバイク事故が急激に増加する傾向にある。このうち自動車事故では圧倒的に死亡事例が多い⁵⁾。

頭部外傷による死亡についてはCenters for Disease Control and Prevention in the United Statesの報告では、年齢別各々10万人あたり5.7(0～4歳)、3.1(5～9歳)、4.8(10～14歳)、15～19歳の思春期には24.3と死亡例が急増する。

虐待による頭部外傷も特徴的な受傷形態であり、平均2～4か月の乳児に多く見られる。Keenanら

は1歳以下の乳児10万人あたり年間30人が虐待による頭部外傷で入院が必要となると報告した⁶⁾。本邦においても、同様の調査は極めて重要であり、関連学会による全国調査が望まれる。

臨床症状と評価

頭部外傷を負った小児の症状は外傷の重症度や脳損傷の部位により多彩である。最も多い症状は意識障害であり、小児用に改定されたGlasgow Coma Scale (GCS) が広く用いられ評価される。頭部外傷の重症度はGCSにより分類され、3～7が重症、8～12が中等症、13～15を軽症と定義する⁷⁾。軽症頭部外傷における意識消失は短時間で、その程度も浅く、錯乱、傾眠、記憶障害と経過する場合が多い。その他嘔吐、顔面蒼白、不機嫌などもよく見られる。

神経脱落症状は対応した脳局所の機能を反映する。昏睡に瞳孔不同や片麻痺を伴う際には臨床症候の観察のみで脳ヘルニアを予見することも出来る。両側上肢の異常伸展肢位は中脳の病変を示し、徐脈や無呼吸は脳幹機能不全の徴候として重要である。受傷時の神経症状は最も重篤であるが、時間経過とともに進行する場合には病変周囲の脳浮腫が増悪し、遅発性脳内出血や静脈洞血栓などの合併について精査を行うことも必要となることがある。

小児の解剖学的特徴

小児の頭蓋、顔面、頸部筋群は、解剖や年齢に応じ生体力学的特徴が変化するため、成人には見られない小児特有の損傷形態を呈することが多い。一方、顔面骨は発達段階にあるため小児では顔面骨骨折を認めない、あるいは微細な骨折が偏位の少ないものが多いことが理解できる。小児の脳、頭蓋、顔面、頸部における生体力学的特徴について述べる(Table 1)。

頭蓋骨の特徴

小児の頭蓋は成人の頭蓋と多くの点で異なる。小児の頭蓋は高い可塑性と変形性を有しており、外力が極めて多様に吸収される。成人の頭蓋は骨折直前に至るまで、ごく僅か変形するのみであるが、乳児の頭蓋は柔らかく、縫合が開いており関

Table 1 小児の頭頸部における解剖・生理学的特徴

- ・頭部のサイズ
 - 頭部・身体比が大きい
 - 顔面・頭蓋比が小さい
- ・頭蓋が変形しやすい
 - 縫合が閉じていない
 - 骨化が発達途上
- ・髄鞘が未発達
 - 水分含有量が多い
 - 細胞骨格が殆どない
- ・頸部筋群が弱い

節様の働きをすることが出来、機械的ストレスに対する脳への変化が最小限に抑えられる。即ち小児の頭蓋は衝撃を吸収する能力に優れているといえる。また縫合の離解により、骨成分が各々移動することも出来るという。

度重なる外力負荷(揺さぶりなど)は微小な頭蓋変形の原因であるが、重症例では、頭蓋・硬膜と隣接した硬膜下血管、また脳との間に強い剪断力を生じ、この剪断力が脈管と直下の脳組織を伸展そして破綻させ、典型的な外傷性くも膜下出血、硬膜下血腫、さらには脳組織密度の境界(皮髄境界)におけるびまん性軸索損傷の原因となる⁸⁾。また縫合の離解により、縫合線や骨折線に沿い脳脊髄液の拍動が伝播しやすく、硬膜損傷を伴った場合、いわゆる「growing skull fracture」という小児特有の病態の原因となることもある。また軽度脳腫脹や占拠性病変(血腫など)による早期かつ急速な頭蓋内圧亢進は起こりにくく、脳ヘルニア等の重篤な頭蓋内の病状に合併する二次性脳損傷の進行を抑止する働きがあるとも考えられている。この場合、頭囲拡大を呈していることが多い。

小児の頭蓋底も、成人と比較し明らかに異なる。特に錐体骨は新生児期から硬度が高く、外力が作用した場合柔軟な頭蓋底軟骨部と硬度の高い緻密部との接点に機械的ストレスが作用し破綻しやすい。また、頭蓋底と錐体骨では骨密度の変化に応じて外力の吸収性が異なるため断裂を起こしやすい。また、小児の頭蓋骨は骨代謝が盛んであり、骨折の治癒が速い。また小児の骨組織は活動性に富み、成長過程にあるため急速な再構築能にも期待ができる。

頭部の大きさ

小児は成人と比べ頭部の体幹における比率が大きく、その比率は生誕時が最大である。その結果、頭部打撲を起こす確率が成人より高い。年齢を重ねるに従って体幹・頭部比率は連続的に減少していくが、頭蓋内容積は2歳までに成人の約72%、8歳までに90%、思春期には96%にまで到達する。小児発達曲線を参照した場合、出生から4歳までに頭囲は40%増加し、この間身長は2倍、体重は4倍に増加する。さらに頭部重量は体幹よりも重いいため、外力が作用し転倒する際には頭部への加速度が増加すると考えられる。

脳水分量と髄鞘化について

出生時、大脳白質には殆ど髄鞘がなく、その分布も成人とは大きく異なる。脳全体が髄鞘化した際には、包括的な水分含有量は著しく減少する。白質の相対水分含有量は灰白質に比べて多いが、新生児脳では89%、成人では77%へと低下する。つまり幼弱な脳は柔軟であり、加速一減速損傷を生じやすいといえる。新生児脳はより水に近い一方、髄鞘化が進んだ脳では、繊維成分による細胞骨格の発達や水分含有量低下により放射線吸収性が高くなる。幼弱脳と成人の脳が最も異なる点は髄鞘の量によるものであると考えられる。さらにこの期間、皮質一髄質間の変化が明らかとなり、髄質は白質に比べて倍増する。髄鞘化は尾側から口側、後方から前方へといった一定の原則に従って進化していくことが知られており、また中心部かつ後頭葉から前頭葉へ進行する⁹⁾。このため髄鞘化の偏位により脳内での外力の吸収性が異なるため、非髄鞘領域における剪断損傷が起きやすく、また直接外力に対し、乳児の頭蓋と脳組織は形態変化が著しいため成人と比較してびまん性の脳変形が生じやすい。

頭蓋顔面比と顔面の発達

出生時は、頭蓋顔面比が8対1、5歳児には4対1となり、思春期には2.5対1となる。生後より成人までの間に頭蓋は4倍、顔面は12倍の大きさに至る。このため小児では交通外傷時に頭蓋を打撲しやすく、年長に至り顔面外傷が増加することが理解できる¹⁰⁾。顔面骨骨折は年齢と共に増加し、

頭蓋内病変は減少する。成長の過程では、顔面の増大と副鼻腔の発達が顕著である。このため、より強い外力が副鼻腔に吸収され、頭蓋及び脳に伝達される外力が減少し、脳損傷も少なくなる。副鼻腔は5か月児で上顎洞、1歳児では篩骨洞が形成される。前頭洞は6歳児に見られ、思春期には成人の大きさに至る。顔面骨の空洞化が少ない場合には、より硬度が高くなり変形性が低いいため、外力が作用した場合、緩衝作用のないまま直接外力が脳に伝達されやすくなり、脳損傷が重篤化しやすくなる。さらに、幼児の頭蓋は著明に前頭部が突出しているため、外力が前頭部あるいは直下の前頭葉へ作用する可能性が高い。顔面の発達は前方と下方が著明であるが、このため年齢と共に顔面中央部の骨折が増加する。乳児では顔面中央と下顎はやや下がっており、結果として防護されているが、反面前頭部は損傷を受けやすい。年長児では成人同様に、頬骨弓、鼻骨などの骨折が増加する。

頸部筋群と頸椎損傷

年少児の頸部筋群は弱く、頭部重量は相対的に重い。小児の頭蓋頸椎の安定性は骨成分よりも靱帯に依存しているため、頭部外傷の頻度に比べ高いことはないが、頭蓋頸椎移行部の病変を生じやすいことも特徴である。年少児では臨床症状の評価が困難なため、病変を見落とす場合もあり注意が必要である。このため重症外傷や受傷機転が不明な場合には、頭蓋頸椎移行部の画像評価を必ず含めたほうが良い。急性かつ局所性神経症状が脳組織に作用した外力では説明困難である場合、頸椎損傷や頸部血管損傷(解離性病変、動脈瘤など)を積極的に診断しなくてはならない。もちろん揺さぶりのような外力は、頸部軟部組織や神経血管束の損傷の原因として重要である。

発達過程の脳や頭蓋骨には年齢特異的な特徴があり、頭部外傷は主に二つの様式によって形成される。

- ①推進外力 他部位に作用した外力の結果、頭部が受ける外力(鞭打ち)
- ②直達外力 固定された物体に頭部が衝突または、運動物が頭部に衝突した際に受ける外力

外傷の形態は多様であり、これらの外力が同時に作用する場合もある¹¹⁾。

支持されていない頭部に推進外力が作用した場合、頸椎の一点を支点とした回転運動を生じる。また脳組織は頭蓋骨と強固に固定されていないため、不整に変形した結果、脳表に張力を生じ、架橋静脈が破綻する。脈管損傷の形態も多様であり、皮質髄質構造においても、皮髄境界面や白質繊維に沿った剪断損傷が生じる。

矢状方向の外力では硬膜下血腫を起こしやすく、冠状断での加速外力は軸索損傷を生じやすい。いわゆる shaken baby syndrome (SBS) は推進外力が作用した頭部外傷の典型であり、軸索損傷が主体である。新生児または乳児の脳では幼弱な頸部筋群、未熟な髄鞘化、細胞骨格の欠如、水分含量の増加などにより、脳組織や頭蓋が多様な振動を受けるため、より軸索損傷を生じやすい傾向にある。

直達外力の場合、頭蓋骨骨折や皮膚挫滅などの損傷が認められ、反対側にも圧波の伝達や反響が脳組織および骨成分を通して作用することが多い。また回転性角加速度の影響や直接作用した外力そのものにより、生じた損傷が局所性かびまん性か、あるいはその混合かという病変の性状が決まる。この種の損傷の多くは頭部への鈍的物体の衝突などにより生じ、特に頭蓋骨骨折がよく見られる。

頭部身体比率が大きいこと、頭部重量が相対的に大きいこと、副鼻腔の空洞化が不十分なこと、頭蓋骨が薄いことなどにより、小児では直達損傷の割合が高い。

一次性脳損傷と二次性脳損傷 (Table 2)

頭部外傷は二つの損傷の種類に分類できる。

①一次性脳損傷：初期外力や衝突の際の外力により生じる損傷

②二次性脳損傷：一次性脳損傷に付随する損傷

二次性脳損傷は時間経過とともに顕在化し、臨床経過や予後に著しく強い相関を示すため重要である。通常、一次性脳損傷は脳実質外(硬膜外血腫、硬膜下血腫、くも膜下出血、脳室内出血)と脳実質内(脳内出血、びまん性軸索損傷、脳挫傷、脳内血腫)、血管(血管解離、内頸動脈海綿静脈洞、硬膜動静脈瘻、偽性動脈瘤)等への損傷をいう¹²⁾。

Table 2 頭部外傷の種類

一次性脳損傷	二次性脳損傷
・衝撃の瞬間に起きる ・超急性期に発生 ・不可逆的である ・通常死亡原因とはならない	・外傷の瞬間後に起きる ・経過中に進展する ・予防できる ・予後を悪くする
- 一骨折、穿通性外傷 - 一脳挫傷、出血	

一次性脳損傷

脳震盪

意識消失の有無に関わらず、外傷が関係した意識状態の変容を総称して脳震盪という。意識状態の変容は、回転性の加速減速運動が脳の広範な領域に作用した結果生じる、びまん性大脳機能不全、あるいは脳幹の特異的障害を指している。脳震盪とは、神経機能の一過性の障害が引き起こす病態生理学的な経過をいうものでもあり、頭痛、めまい、見当識障害、嘔気・嘔吐、傾眠など様々な臨床症状を呈する。

脳震盪の生体力学については様々な議論があり、直接的な衝撃よりも回転加速による変化による影響が大きいといわれている。また、スポーツ関連外傷でも軽度の意識障害は往々にして認めるが、脳震盪は外科的治療を要しない「軽症頭部外傷」と単純に考えられがちである。しかし、繰り返す脳震盪は高次脳機能障害や進行性の障害、セ

カンドインパクト症候群といった致命的な病態を生じることもあり、その診断と治療は慎重に行う必要がある¹³⁾。

脳震盪は、原則として解剖学的な損傷を伴わないため、臨床症状を基に診断を行う。画像診断(単純撮影, CT, MRI)においても、まず異常は認められないが、近年Diffusion Tensor Image (DTI) やfunctional MRI (fMRI) により異常が検出された報告が散見されている。脳震盪後症候群が強い例や情動の不安定をきたす患者は、DTI上脳梁連合繊維の損傷と強い相関があることが解明されつつある¹⁴⁾。またfMRIによる解析によれば、脳震盪の症状は脳局所の解剖学的な異常によるものではなく、神経機能の統合不全であることが明らかとなっている。

頭蓋骨骨折(一次性脳損傷)(Fig.1)

骨病変は直接損傷のサインであると同時に感染経路ともなり得る。また頭蓋底骨折は脳神経自体の損傷や圧迫の原因ともなる。小児頭部外傷における頭蓋骨骨折の頻度は諸家の報告があり、2.1～26.6%とされる。重症頭部外傷例の75%、軽症例の10%とも報告されている¹⁵⁾。一方、小児頭部外傷における頭蓋内病変の50%が単純撮影上正常と診断されている。

骨折は頭頂骨に最も多く、後頭骨、前頭骨、側頭骨の順であり、いずれも線状である場合が多い。

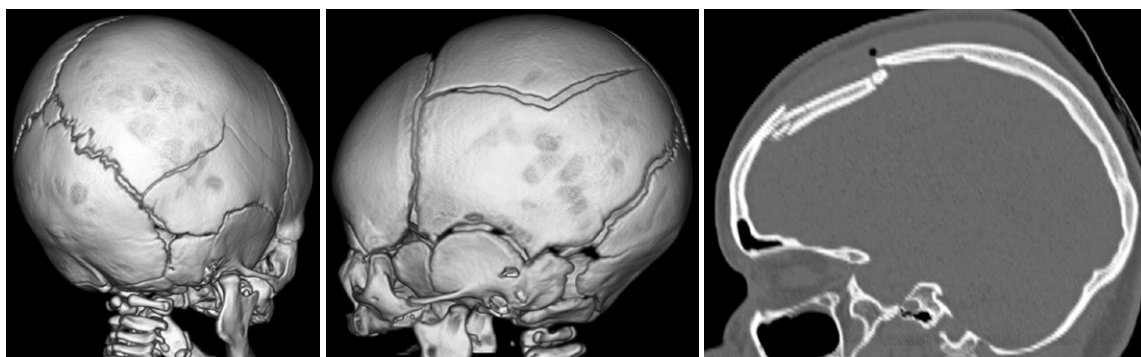


Fig.1 頭蓋骨骨折

- a: 右頭頂骨線状骨折
b: 左頭頂骨線状骨折
c: 前頭骨陥没骨折

a | b | c

線状骨折は縫合線と判別が困難な場合もあるが、縫合線が①正常解剖部にあること、②辺縁に骨化が認められること、③入り組んだ鋸歯像を呈する等の特徴より判断することも可能である。また骨折に隣接した頭蓋外の皮下腫脹所見や、頭蓋内出血所見により骨折が明らかとなる場合もある。診断上3DCTは極めて有用である (Fig.1)。

骨折の種類には線状、陥没、頭蓋底骨折がある。線状骨折が最も多く、全骨折の約75%であり15～30%が頭蓋内病変を合併する。陥没骨折は全小児頭部外傷の約7～10%とされるが、陥没骨が硬膜静脈洞に隣接する場合、硬膜外血腫や静脈洞内血栓症の原因となり得る。Ping-pong ball fractureは骨が未成熟な新生児などにみられるタイプの陥没骨折であるが、近年は保存的治療により軽快するという報告が多い。頭蓋底骨折は全小児外傷患者の6～14%といわれるが、多くが側頭骨や顔面骨骨折と連結しており、遅発性髄膜炎の原因ともなる。その他頭蓋底骨折には髄液鼻漏、耳漏、乳様突起上の紫斑 (battle's sign)、眼瞼周囲紫斑 (racoon's eye)¹⁶⁾等の症状が認められる。

鼓膜内出血、顔面神経損傷などを合併することもある。また錐体骨や中耳の損傷による聴力障害、各種脳神経麻痺、内頸動脈等の直接血管損傷などにも留意する。

頭蓋内出血病変

硬膜外血腫 (Fig.2)

成人と比較して、乳幼児における硬膜外血腫は稀である。小児の硬膜は頭蓋骨内板との癒着が強固であること、中硬膜動脈溝が浅く血管の可動性が大きいこと等の解剖学的特徴がその理由である¹⁷⁾。小児の硬膜外血腫は殆どが静脈性であり、硬膜静脈洞や導出静脈の破綻により生じることが多い。特に後頭蓋窩、中頭蓋窩、傍矢状から頭蓋冠が好発部位である。動脈性の硬膜外血腫は急激に増大し、往々にして硬膜動脈の走行を横断する骨折線を認めることが多い。新生児では中硬膜動脈が骨内に含有されておらず、硬膜と接合していないことから動脈性血腫は殆ど見られない¹⁸⁾。小児の頭蓋は外力に対する変形能が高いため、年少児では骨折を伴わずに硬膜が頭蓋骨内板より剥離されやすいが、年長児では成人と同様の損傷形態を呈すると考えられている。従来硬膜外血腫は原則として縫合線を超えないとされてきたが、特に頭蓋冠の血腫では中心線を超えて反対側に及ぶ症例もあり、注意を要する¹⁹⁾。

硬膜下血腫 (Fig.3a)

厳密に言えば、硬膜下血腫は外傷により生じたくも膜と硬膜との裂隙に生じる。小児における急性硬膜下血腫の頻度は3.5～10.8%と報告されており、必ずしも直撃外力の作用によるものだけではなく、静止した頭部が物体の直撃を受ける、運

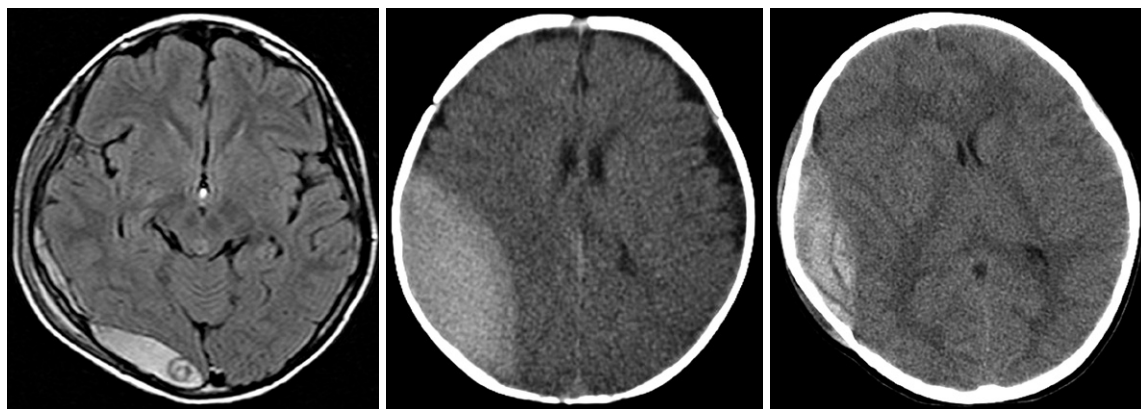


Fig.2 a: 横静脈洞に接した急性硬膜外血腫
b: 急性硬膜外血腫
c: 急性硬膜外血腫

a | b | c

動中の頭部が物体に衝突するなどの急速な減速を受ける際に生じる剪断力や回転加速度により発生する²⁰⁾。

また乳幼児における急性硬膜下血腫の原因としては、虐待による頭部外傷が最も多いとされる。異なる時間相の血腫(慢性・急性)が混在する場合には、血液凝固障害の除外を行うと同時に、虐待の関与を強く疑う必要がある。テント上、頭蓋冠、大脳鎌、小脳テントに沿った血腫が多く、架橋静脈が破綻しやすいこと、乳幼児の頭蓋骨の変形性が大きいこと、髄鞘化が未発達で軟弱な脳組織、比較的広い硬膜下腔などの要因から、架橋静脈が牽引されやすい状況にあり、硬膜下血腫の発生に強く関係している²¹⁾。また硬膜外血腫と比べて脳挫傷合併の比率が高い。また両側病変であることが多く、部位としては半球間裂や傍大脳鎌、小脳テントに沿った血腫も認め、脳表と硬膜の癒着がないため広範に及ぶ場合もある。脳萎縮、シャント後の水頭症、良性外水頭症、硬膜下液体貯留などを有した場合も、架橋静脈がすでに伸展しておりごく僅かな外力により破綻しやすい²²⁾。

くも膜下出血(一次性損傷)

外傷性くも膜下出血の原因は、くも膜下腔や脳表の小血管破綻、脳室内出血の循環や再分布、ま

た脳内血腫や脳挫傷による出血が脳室内やくも膜下腔に穿破して起こることもある。

脳室内出血(一次性損傷) (Fig.5a)

脳室内出血の多くは、脳室に隣接した外傷性脳内血腫が脳室内に穿破する、または脳室上衣下血管の破綻や脳弓、透明中隔、脳梁等の傍脳室構造の損傷からの出血が流入する、さらには外傷性くも膜下出血の脳室内進展等によるものである。びまん性軸索損傷の際、剪断・回転による脳室上衣下及び脳梁腹側の血管破綻による脳室内出血を合併することが多い。出血成分による中脳水道閉塞やくも膜顆粒閉塞による二次性水頭症の発現に注意が必要である。また赤血球分解産物による化学性脳室上衣炎を起こすこともある。

脳実質内病変

脳挫傷(一次性損傷) (Fig.4)

脳挫傷は脳表の灰白質に多く生じ、白質は正常に維持されていることが多い。前頭・前頭蓋底、側頭・側頭頭蓋底では、不整な頭蓋底表面や鶏冠、錐体骨に脳表が接しているため脳挫傷を生じやすい¹⁸⁾。陥没骨折の際にも脳挫傷を伴うが、乳児の場合骨表面が柔らかく無変化なこともある。いわゆる反跳対側病変 (Contre coup injury) は乳幼児

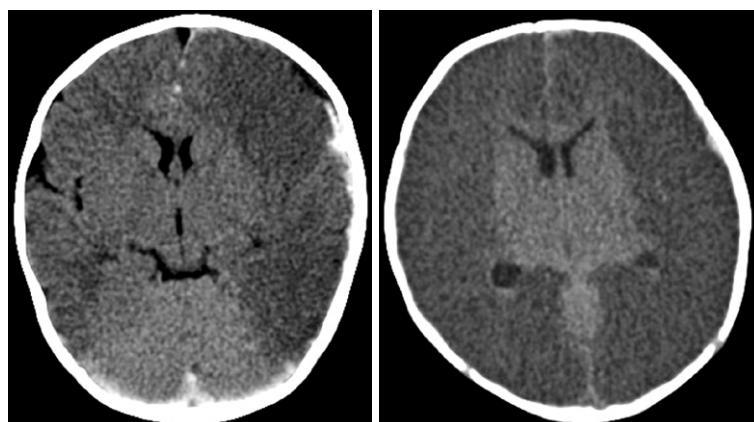


Fig.3 虐待による頭部外傷

a: 薄い硬膜下血腫と直下の虚血性と思われる低吸収域を認める。

b: 基底核の構造を残し、広範な低吸収域を呈する。
(Big Black Brain)

a | b

では稀であり、外力作用直下の脳表の挫傷を伴いやすい。急性期を超え亜急性期では、挫傷周囲に脳浮腫が生じ、占拠性病変となる。さらに受傷後4～6日頃より毒性代謝産物が局所脳へ放出され炎症過程を経て周囲脳の浮腫が進展する。外傷による出血や腫脹の拡大は占拠性病変を進行させ、二次的脳損傷を増悪させる。脳ヘルニアにより周囲組織の血管構造が圧迫されると局所の脳虚血が助長される。特に脳挫傷が、側頭葉、視床下部、後頭蓋窩に存在する場合は、短時間に脳ヘルニアが進行するため注意が必要である。

びまん性軸索損傷(一次性損傷) (Fig.5b)

びまん性軸索損傷(diffuse axonal injury ; DAI)の典型的な臨床症状として、昏睡及び除皮質・除脳肢位がある。近年軽症のDAIと高次機能障害との関連に注目が集まっている。本来この病態は神経病理学的概念であり、特に脳幹背側、傍矢状白質、脳梁、大脳半球の皮髄境界など広範な部位での脳領域に分布した軸索損傷を認めることが必要条件であるが、病理学的根拠を伴わないDAIの診断はあくまで臨床判断としての病名であり、確定診断ではない¹⁹⁾。DAIは急速な加速減速力に回転

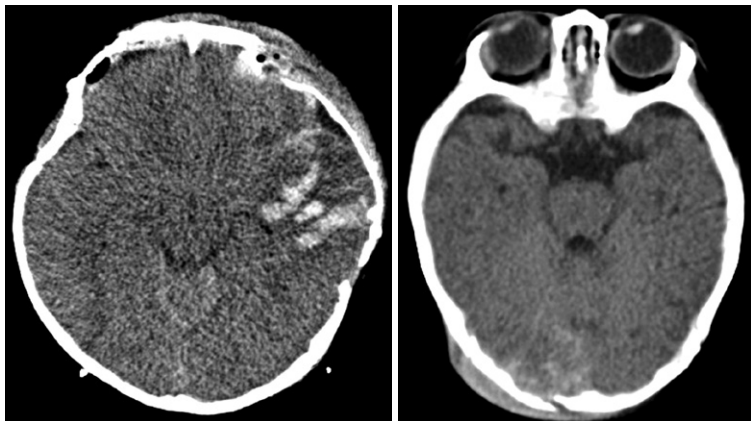


Fig.4 脳挫傷

- a: 左側頭葉先端部の脳挫傷(減圧開頭後)
b: 右後頭葉脳挫傷(直上の骨折を合併)

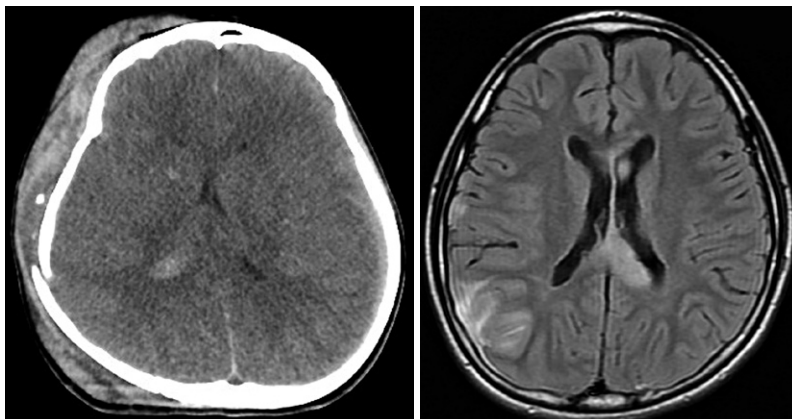


Fig.5 a: 基底核の点状出血と脳室内出血の合併した重症頭部外傷
b: 脳梁損傷と脳挫傷を合併したびまん性軸索損傷(MRI T2WI)

性外力が加わった混合性外力により、多様な密度の外力が脳の多領域の組織に作用し複雑な病理像を呈する。同時に剪断力により脈管や神経線維が損傷を受けることになる。小児例では頭部外傷の約40%にいわゆるDAI像を認めるとした報告がある。特に乳幼児に多く認められ、大きな頭部、弱い頸部筋群、広い硬膜下腔、薄い頭蓋骨等の理由によるものと考えられる。1歳以下の小児例で頭蓋頸椎移行部の軸索に損傷を認めた報告もある。前頭葉、頭頂葉の皮質下白質、次いで脳梁中部から膨大部、基底核、内包に病変を認めることが多い。DAI病変は画像による確定診断も容易ではなく、特に出血性変化を認める場合にはより一層慎重な判断を必要とする²³⁾。

脳内出血(一次性損傷)

外傷性脳内出血は脳挫傷との鑑別が困難である。成因として脳実質内の小血管が剪断力により損傷を受け出血することが考えられる。前頭側頭部、基底核に認めることが多い。特に白質に多く、病変周囲の浮腫も軽度であることが多い。遅発性の出血を呈する場合、急激な神経学的所見の増悪の原因となるが、脳ヘルニアに続発した占拠性病変による周囲脳組織の圧迫から出血を起こすこともある¹⁸⁾。

二次性脳損傷

びまん性脳浮腫(急性二次性損傷)(Fig.6)

びまん性脳浮腫は頭部外傷後最も致命的な合併症である。重症頭部外傷に多く見られるが、びまん性病変の年齢特異的な機序については不明な点も多いが、従来小児の頭部外傷では脳血流自動調節能が未発達かつ障害されやすく、成人と比べ充血性脳腫脹が起こりやすいと考えられてきた²⁴⁾。また動物実験では発達段階の脳組織では受傷後、興奮性神経伝達物質の過剰放出が指摘されており、炎症反応の亢進も認められている。さらに血液脳関門の血管透過性亢進、低血圧により脳血流量の致命的低下を起こす確率が高い。これらの脳灌流低下は脳虚血を助長し、脳腫脹を促進するものと考えられている²⁵⁾。びまん性脳腫脹は受傷後24～48時間で出現することが多く、脳溝や脳槽の圧排や脳室の圧迫偏位は典型的な画像所見でもある。細胞毒性浮腫は同時発生した組織低酸素や低灌流により発現し、正常な皮髄境界の消失をもたらす。ICP亢進により脳実質は進行性脳ヘルニアからさらに二次的損傷を受け、脳死に移行する。大脳半球が細胞毒性浮腫による変化を生じていても小脳と脳幹は比較的正常であり、いわゆるwhite cerebellar signを呈する。胸部外傷により低換気や心停止を生じた結果びまん性低酸素脳症を合併することもある^{26,27)}。

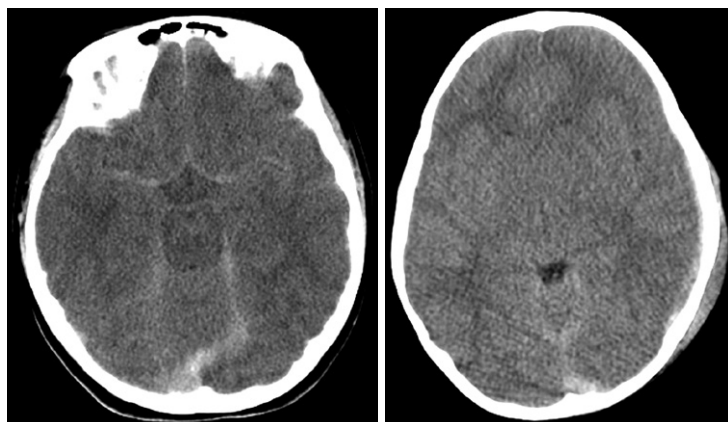


Fig.6 びまん性脳浮腫

- a: 脳槽、脳溝ともに消失しくも膜下出血を伴う浮腫像。
b: 脳室構造の消失を伴い、皮髄境界も不鮮明となっている。

a | b

虐待による頭部外傷

頭部外傷を主訴として救急受診する乳幼児の中には、虐待による頭部外傷が一定の割合で含まれている。米国では集中治療が必要であった1歳以下の被虐待児は10万人あたり30人であると推測されている。2歳以下特に平均2～4か月の乳児に多く見られるとする報告が多い⁶⁾。

虐待による頭部外傷は極めて重篤な神経後遺症の原因となる。過去多くの臨床報告や基礎実験がなされているが、病態を説明するに十分な病態の解明には至っておらず、事故による外傷と比較して、明確に病理学的な相違を示す所見も乏しい。Shaken baby syndrome (SBS) のように、揺さぶりが傍矢状洞の架橋静脈の破綻をもたらしという基本的な機序を始めとして、頭部が物体に衝突すること(突き落とす、投げつける、殴打する等)による急激な加速減速の関与、頭蓋頸椎移行部の頸髄損傷による呼吸障害(低酸素、低血圧)、発達途上にある血液脳関門の機能不全による血管透過性亢進や炎症波及、さらには過剰な興奮性神経伝達物質による神経細胞、グリア細胞の破壊(遅発性神経細胞死を含む)などの影響により、虐待による頭部外傷は広範かつ重篤な損傷を来すとされている¹¹⁾。SBSはあくまで損傷機序の一形態であり、その他にも多方向から多様な外力が脳実質に作用することは十分予測できるため、近年では総称してAbusive Head Trauma (AHT) と呼称することが一般的である。

病歴と損傷の程度の乖離、網膜出血や大腿骨骨幹骨折などを合併した場合、養育が粗悪な印象を与えるなどの際には虐待を強く疑う必要がある。さらに意識障害、呼吸障害、痙攣発作、経口摂取異常なども重要なサインである。

AHTにおいて頭皮の変化は特徴的であり頭皮挫創、皮下腫脹、挫傷は直達損傷により生じる損傷である。柔らかい皮膚の表面は頭部への衝撃を放散することが出来るため、外表上の損傷所見がなくとも脳損傷を負うこともあり、剖検により初めて虐待による脳損傷が明らかとなるケースも少なくない。

頭蓋骨骨折は直撃損傷によるが、多くが線状または陥没骨折である。まれに頭蓋底骨折を認める場合もある。骨折の所見より受傷時期を推測することは困難であるが、皮下腫脹の所見などにより

判断することは可能である。その他多発骨折や両側骨折、静脈洞に交差する骨折などは虐待に特異的であり、特に頭頂骨や後頭骨に多く見られる²⁸⁾。

硬膜下血腫及び外傷性くも膜下出血は極めて多くの症例で認める所見である。特に後頭部、半球間裂後半部に多く、直達外力や角加速度により起こると考えられている。出血の時期は虐待の裏付けとなることが多いため医学的判断を求められる場合もあるが容易ではない²⁹⁾。

硬膜外血腫は稀であり、その他脳挫傷、脳虚血、脳内血腫、びまん性軸索損傷などを認める。虚血性病変や白質の病変は詳細な画像検査によっても指摘が困難な場合もあり、MRIが最も有用かつ感度の高い検査法であると考えられている³⁰⁾。

ICUでの管理^{31, 32)}

1. 頭蓋内圧 (intracranial pressure : ICP) 測定 の適応と方法

小児重症頭部外傷例においてICP値は予後と相關しており、ICP亢進の治療は予後改善をさせる。本邦では脳実質センサーを挿入することが一般的であるが、海外では脳室ドレナージチューブを用いる傾向にある。小児をICUにて観察する場合、神経症状や意識レベルの評価が行いにくく、ICPセンサーを用い数値として表すことによって経過観察が容易になるという意見が多い。

2. ICPの治療閾値

一般的には小児患者においても成人同様、ICP 20mmHg以上が5分以上持続する場合ICP亢進と定義される。ICP 20mmHgが治療開始の閾値として適正である根拠はないが、身長、体重、水分量などを考慮した場合、解剖・生理学的には年齢に応じてICP正常値を定められている。現在ではICPに加えて、脳灌流圧 (CPP) や頸静脈洞内酸素飽和度 (SjO₂) 値、経頭蓋超音波ドップラー等の結果を集め総合的な判断による管理が好ましいと考えられている。

3. 脳灌流圧 (cerebral perfusion pressure : CPP) の治療閾値

小児例では頭部外傷後の脳血流 (CBF) 低下や組織虚血の報告が多い。組織虚血はCBF測定の対象

となる脳組織の状態を反映すべきだが、センサーが挿入された部位の情報しか提供できないという限界もある。

本来脳血流は自動調節能により、一定に維持され人為的なCPP上昇を加えると脳血管平滑筋収縮が誘発される。小児は自動調節能が未熟であり、CBFはCPPに依存している。このためCPPの維持は成人以上に重要である。一般的にCPP 40mmHg以下で死亡率と相関するが、小児ではICP降下よりもCPP維持を治療目標とした場合に予後が良いという報告もある。近年脳組織内酸素分圧 (PbtO₂) 等の新しいパラメータを用いた脳虚血の評価が報告されている。結論として、CPPは局所脳損傷による組織虚血を反映できないという欠点があり、個々の患者、損傷脳の状態に応じた治療方針の計画が必要となるであろう。

4. 鎮静剤, 鎮痛剤, 筋弛緩剤の治療的使用

十分な鎮静, 筋弛緩それ自体によりICP降下や代謝抑制をもたらすことが出来る。ただし、小児例に対するプロポフォールの持続的投与は致死的代謝性アシドーシスを誘発する恐れがあるため、禁忌である。

5. 脳室ドレナージによるICP管理

米国では脳室ドレナージが標準的に行われており、また米国ガイドラインでもGCS8以下の小児重症例に対し、ICP測定法として推奨されている。脳神経外科の基本手技であり、測定値の信頼度が高く、安価であること、また髄液排出により急速なICP降下が期待できることなどの利点がある。さらにドレナージの使用により、その他の治療法(高浸透圧利尿剤の総使用量, 低体温管理, ICU在室日数等)が減少したという報告もある。小児では脳室が狭く、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は1%以下、感染が5%以下である。

6. 高張剤による治療

高浸透圧利尿剤マニトール, グリセオールが用いられるが、使用時は投与前の血漿浸透圧320mOsm/l以下であることを確認し、腎不全の合併に十分気をつけなくてはならない。また正常

循環血液量を維持することが推奨されている。

高張食塩水(3%食塩水)の有効性が報告されているが、通常0.1~1.0ml/kg/hの持続投与を行う。日本では10%生理食塩水を3%に調合して代用していることが多い。高張食塩水の生理学的作用としては、1) 血液粘滯度の低下による脳血流改善、2) 脳血流量の低下による頭蓋内血液量及び頭蓋内圧の降下、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) 心拍出量の改善などが挙げられる。血液脳関門や血管自動調節能が破綻した部位では効果は期待できない。血漿浸透圧360mOsm/lまで使用可能であり、投与による腎不全の発生率はマニトールに比べ低い。

7. 過換気療法

盲目的な持続的過換気は望ましくない。かつては小児重症頭部外傷の直後には脳充血現象が起ると推定されていたが、実際にはあまり見られないということや、過換気による脳血管収縮が脳虚血を助長するためである。このため脳血流・脳代謝モニターを駆使しながら呼吸器設定を調節することが理想的である。特に受傷後24時間以内は脳血流量が低下する例も存在するため十分注意が必要である。ただし脳ヘルニア徴候を伴う急激なICP亢進に対しては、短時間の過換気がICP降下に有用であるという意見もある。

8. バルビツレート療法

バルビツレート療法によるICP降下作用自体は認められている。小児例に対し経験的に使用されてきたが、予後改善については不明である。脳波上burst suppressionが確認できる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いう意見が多い。大量バルビツレート療法は心抑制などの作用から循環動態を不安定にさせる可能性があるため、ICU等呼吸循環管理の可能な環境で実施することが望ましい。バルビツレートによる心筋抑制、低血圧の合併は重要な問題であり、その他の内科的治療法が無効な難治性ICP亢進に対してのみ選択されることが多い。十分な補液や昇圧剤の併用、また循環動態のモニタリングを行い、盲目的な使用を避けることは重要である。

9. 低体温療法

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、平均24～48時間である。また復温も急速である。受傷後8時間以内に33～34度の軽度低体温治療を実施し、ICP亢進の有無に関わらず24時間行った結果、予後は改善していない³³⁾。

一方、ICP値を指標として長期間低体温治療を実施し、復温速度も緩徐なプロトコールを使用するアジア諸国からは有効性を主張した報告も多く、一定の結論には到達していない。特に急速な復温や48時間以内に開始された復温では、高率にICP上昇を惹起するため、冷却期間や復温速度についてはさらなる検討が必要である。

10. 減圧開頭法

小児の頭蓋内圧亢進に対する減圧術については臨牀的、機能的長期予後が改善したという報告が多い。ただし呼吸循環動態が不安定な状態で性急に減圧術を行ったことにより死亡率が増加したという報告もある³⁴⁾。十分にバイタルサインを安定させた上で手術を行い、また短時間の手術が好ましい。減圧術はあくまでも内科的治療に反応しない頭蓋内圧亢進に対して実施されるのが一般的だが、CT等の画像所見やICPセンサーの閾値を超えた時点で早期に減圧を行う施設も増えており、今後の動向が待たれる。

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等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。

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、③GCS8以下のいずれにおいても投与が好ましい³⁵⁾。

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、同時に臨牀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^{36,37)}。近年Levetiracetamが外傷後てんかん原性を減弱される可能性について注目が集まっている。

●文献

- 1) Giza CC, Mink RB, Madikians A : Pediatric traumatic brain injury : not just little adults. *Curr Opin Crit Care* 2007 ; 13 : 143-152.
- 2) Dias MS : Traumatic brain and spinal cord injury. *Pediatr Clin North Am* 2004 ; 51 : 271-303.
- 3) Le TH, Gean AD : Neuroimaging of traumatic brain injury. *Mt Sinai J Med* 2009 ; 76 : 145-162.
- 4) Langlois JA, Rutland-Brown W, Thomas KE : The incidence of traumatic brain injury among children in the United States : differences by race. *J Head Trauma Rehabil* 2005 ; 20 : 229-238.
- 5) Agran PF, Winn D, Anderson C, et al : Rates of pediatric and adolescent injuries by year of age. *Pediatrics* 2001 ; 108 : E45.
- 6) Keenan HT, Runyan DK, Marshall SW, et al : A population-based study of inflicted traumatic brain injury in young children. *JAMA* 2003 ; 290 : 621-626.
- 7) Hamilton NA, Keller MS : Mild traumatic brain injury in children. *Semin Pediatr Surg* 2010 ; 19 : 271-278.
- 8) Ommaya AK, Goldsmith W, Thibault L : Biomechanics and neuropathology of adult and paediatric head injury. *Br J Neurosurg* 2002 ; 16 : 220-242.
- 9) Margulies SS, Thibault KL : Infant skull and suture properties : measurements and implications for mechanisms of pediatric brain injury. *J Biomech Eng* 2000 ; 122 : 364-371.
- 10) Bernardi B, Zimmerman RA, Bilaniuk LT : Neuroradiologic evaluation of pediatric craniocerebral trauma. *Top Magn Reson Imaging* 1993 ; 5 : 161-173.
- 11) Goldsmith W, Plunkett J : A biomechanical analysis of the causes of traumatic brain injury in infants and children. *Am J Forensic Med Pathol* 2004 ; 25 : 89-100.
- 12) Newgard CD, Lewis RJ : Effects of child age and body size on serious injury from passenger airbag presence in motor vehicle crashes. *Pediatrics* 2005 ; 115 : 1579-1585.

- 13) Ommaya AK, Gennarelli TA : Cerebral concussion and traumatic unconsciousness. Correlation of experimental and clinical observations of blunt head injuries. *Brain* 1974 ; 97 : 633-654.
- 14) Wilde EA, McCauley SR, Hunter JV, et al : Diffusion tensor imaging of acute mild traumatic brain injury in adolescents. *Neurology* 2008 ; 70 : 948-955.
- 15) Quayle KS, Jaffe DM, Kupperman N, et al : Diagnostic testing for acute head injury in children : when are head computed tomography and skull radiographs indicated? *Pediatrics* 1997 ; 99 : E11.
- 16) Muhonen MG, Piper JG, Menezes AH : Pathogenesis and treatment of growing skull fractures. *Surg Neurol* 1995 ; 43 : 367-372.
- 17) Leggate JR, Lopez-Ramos N, Genitori L, et al : Extradural haematoma in infants. *Br J Neurosurg* 1989 ; 3 : 533-539.
- 18) Case ME : Accidental traumatic brain injury in infants and young children. *Brain Pathol* 2008 ; 18 : 583-589.
- 19) Huisman TA, Tschirch FT : Epidural hematoma in children : do cranial sutures act as a barrier? *J Neuroradiol* 2009 ; 36 : 93-97.
- 20) Harn YS, Chyung C, Barthel MJ, et al : Head injuries in children under 36 months of age. Demography and outcome. *Childs Nerv Syst* 1988 ; 4 : 34-40.
- 21) Duhaime AC, Christian CW, Rorke LB, et al : Non-accidental head injury in infants-the "shaken-baby syndrome". *N Engl J Med* 1998 ; 338 : 1822-1829.
- 22) Loh JK, Lin CL, Kwan AL, et al : Acute subdural hematoma in infancy. *Surg Neurol* 2002 ; 58 : 218-224.
- 23) Graham DI : Paediatric head injury. *Brain* 2001 ; 124 : 1261-1262.
- 24) Lang DA, Teasdale GM, Macpherson P, et al : Diffuse brain swelling after head injury : more often malignant in adults than children? *J Neurosurg* 1994 ; 80 : 675-680.
- 25) Van Lookeren Campagne M, Verheul JB, Nicolay K, et al : Early evolution and recovery from excitotoxic injury in the neonatal rat brain : a study combining magnetic resonance imaging, electrical impedance, and histology. *J Cereb Blood Flow Metab* 1994 ; 14 : 1011-1023.
- 26) Margulies SS, Thibault KL : Infant skull and suture properties : measurements and implications for mechanisms of pediatric brain injury. *J Biomech Eng* 2000 ; 122 : 364-371.
- 27) Martin C, Falcone RA Jr : Pediatric traumatic brain injury : and update of research to understand and improve outcomes. *Curr Opin Pediatr* 2008 ; 20 : 294-299.
- 28) Duhaime AC, Gennarelli TA, Thibault LE, et al : The shaken baby syndrome. A clinical, pathological, and biomechanical study. *J Neurosurg* 1987 ; 66 : 409-415.
- 29) Pierce MC, Bertocci GE, Berger R, et al : Injury biomechanics for aiding in the diagnosis of abusive head trauma. *Neurosurg Clin N Am* 2002 ; 13 : 155-168.
- 30) Adamsbaum C, Graber S, Mejean N, et al : Abusive head trauma : judicial admissions highlight violent and repetitive shaking. *Pediatrics* 2010 ; 126 : 546-555.
- 31) Adelson PD, Bratton SL, Carney NA, et al : Guidelines for the acute medical management of severe traumatic brain injury in infants, children, adolescents. *Pediatr Crit Care Med* 2003 ; 4 : S72-75.
- 32) 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.
- 33) Hutchison JS, Ward RE, Lacroix J, et al : Hypothermia therapy after traumatic brain injury in children. *N Engl J Med* 2008 ; 358 : 2447-2456.
- 34) Jagannathan J, Okonkwo DO, Dumont AS, et al : Outcome following decompressive craniectomy in children with severe traumatic brain injury : a 10-year single-center experience with long-term follow up. *J Neurosurg* 2007 ; 106(4 Suppl) : 268-275.
- 35) Liesemer K, Bratton SL, Zebrack CM, et al : Early post-traumatic seizures in moderate to severe pediatric traumatic brain injury : rates, risk factors, and clinical features. *J Neurotrauma* 2011 ; 28 : 755-762.
- 36) 栗原まな, 穴戸 淳, 吉橋 学, 他 : 小児外傷後てんかんの検討. *てんかん研究* 2012 ; 29 : 460-469.
- 37) Sugaya Y, Maru E, Kudo K, et al : Levetiracetam suppresses development of spontaneous EEG seizures and aberrant neurogenesis following kainate-induced status epilepticus. *Brain Res* 2010 ; 1352 : 187-199.

特集 外 傷

3. 小児の顔面，側頭骨外傷

河野達夫

東京都立小児総合医療センター 診療放射線科

Facial and temporal bone trauma in children

Tatsuo Kono

Department of Radiology, Tokyo Metropolitan Children's Medical Center

Abstract

Facial bones in children are less prone to fracture than those in adults. Because the craniofacial ratio is higher : the cranium absorbs the brunt of impacting forces : the facial bones are elastic : and the paranasal sinuses are smaller. Various distributions of ossification, pneumatization, and vascularity of the developing facial bones lead to different patterns of facial bone fractures as compared with adults. Incomplete fractures and diastasis are common. There are a number of lines or markings seen on temporal bone CT that may be mistaken for fractures. They are termed "pseudofractures", and some of them are more apparent in children than adults.

Keywords : *Temporal bone fracture, Penetrating injury, Foreign body*

はじめに

小児の顔面・側頭骨外傷の特徴が成人のそれと異なる点は，受傷機転の相違と，成長に伴う骨構造の違いに起因している。

小児の顔面外傷の受傷機転の特徴は，その日常生活の活動性を反映している。すなわち，遊具や他人との衝突，転倒，転落，ボールによる打撃が多い点と，筆記用具や箸などの尖端異物による穿通損傷がしばしば見られる点である。成人に比して交通外傷などの高エネルギー損傷や，格闘による外傷は少ない。

小児の顔面骨は成人に比して骨折しにくいとされる。その理由として，顔面骨に対して頭蓋冠が大きいこと，頭蓋冠が外力を緩衝しやすいこと，顔面骨自体に弾性があること，骨縫合が未完成であること，副鼻腔の発達が未熟なことなどが考えられている^{1,2)}。Chapmanら³⁾によれば，側頭骨を除く小児顔面骨折のうちで眼窩上壁骨折が36%を

占め最も頻度が高く，頬骨弓(20%)，鼻骨・眼窩骨・篩骨複合(16%)，眼窩底(15%)，鼻骨(13%)がこれに続くとされる。

側頭骨外傷

1. 小児の側頭骨の解剖学的特徴

新生児・乳児では頭蓋の成長よりも感覚器の成長が先行するため，側頭骨全体の骨化が不十分で，あたかも骨迷路が太くその周囲の骨硬化が進行しているように見える。乳突洞(蜂巣を含む)は，出生時には腔としての前庭が存在するが，含気が出現するのは生後3か月頃からであり，年齢とともに徐々に発達する^{4,5)}。

成人の側頭骨骨折の検討から，外力は骨内の堅固な部分を避けて，脆弱な部分に骨折を生じると考えられている。そのため，成人の縦骨折では外耳道から中耳，破裂孔にいたることが多い。前述の解剖学的特徴から，小児は成人とは堅固な部分

と脆弱な部分の分布が異なり、骨折のパターンにも違いを生じると考えられる。しかしその差異はまだ確立されていない。

小児側頭骨CTを読影する際に障害となる原因の一つが、偽骨折 (pseudofracture) の存在である (Fig.1)。これは成人でも見られる正常構造であるが、小児では特に顕著に見られるため骨折と誤認されることがあるので、注意が必要である。

2. 側頭骨骨折

小児の頭蓋底骨折の20%に側頭骨骨折を伴うと

されている。

側頭骨骨折は古典的には、錐体骨の長軸に平行した縦骨折 (longitudinal fracture : Fig.2)、直交する横骨折 (transverse fracture : Fig.3)、混合型 (mixed fracture) とに大別され、斜骨折 (oblique fracture) を加えた分類もある。錐体骨の長軸とは、乳突部の外側面から錐体尖部を結ぶ線をさす。縦骨折の特殊型として floating cochlea がある。このタイプは、錐体尖が外側と尾側の双方の骨折により側頭骨から分離するもので、小児に多いとされる。

縦骨折は側頭部から頭頂部への横方向からの外

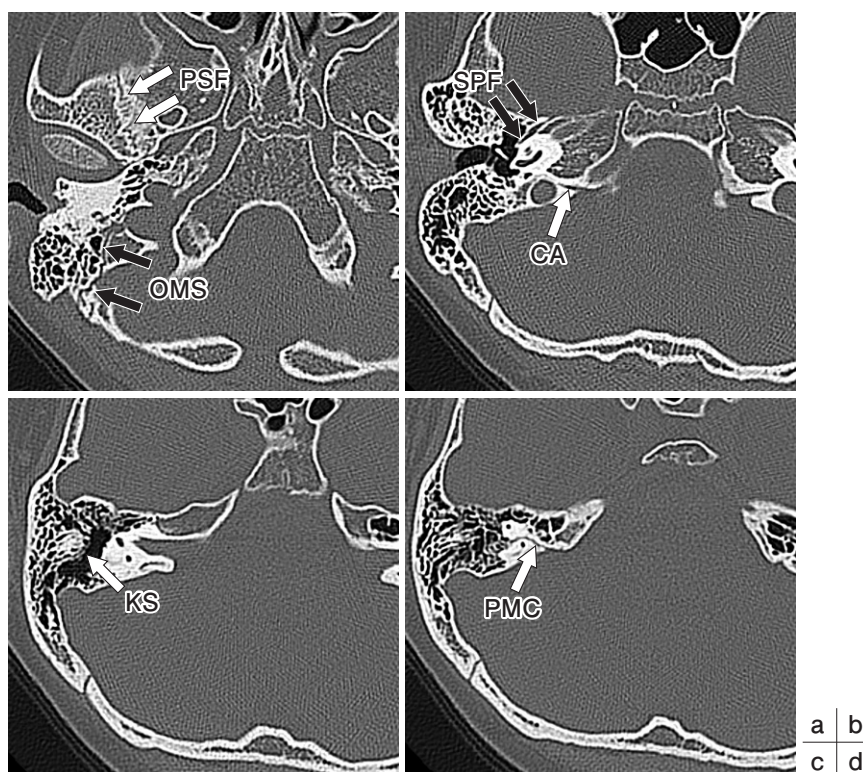


Fig.1 偽骨折

側頭骨以外との骨縫合や、側頭骨を構成する5つのパーツ(鱗状部・乳突部・錐体部・鼓室部・茎状突起)間の縫合、側頭骨内にある管腔などが、あたかも骨折のように見えることがあるため、誤診しないように注意が必要である。

- a: 後頭骨・乳突部縫合 (Occipitomastoid suture : OMS), 錐体・鱗状縫合 (Petrosquamosal fissure : PSF)
- b: 蝶形骨・錐体縫合 (Sphenopetrosal fissure : SPF), 蝸牛水管 (Cochlear aqueduct : CA)
- c: Körner's septum (KS)
- d: 錐体乳突管 (Petromastoid canal : PMC)

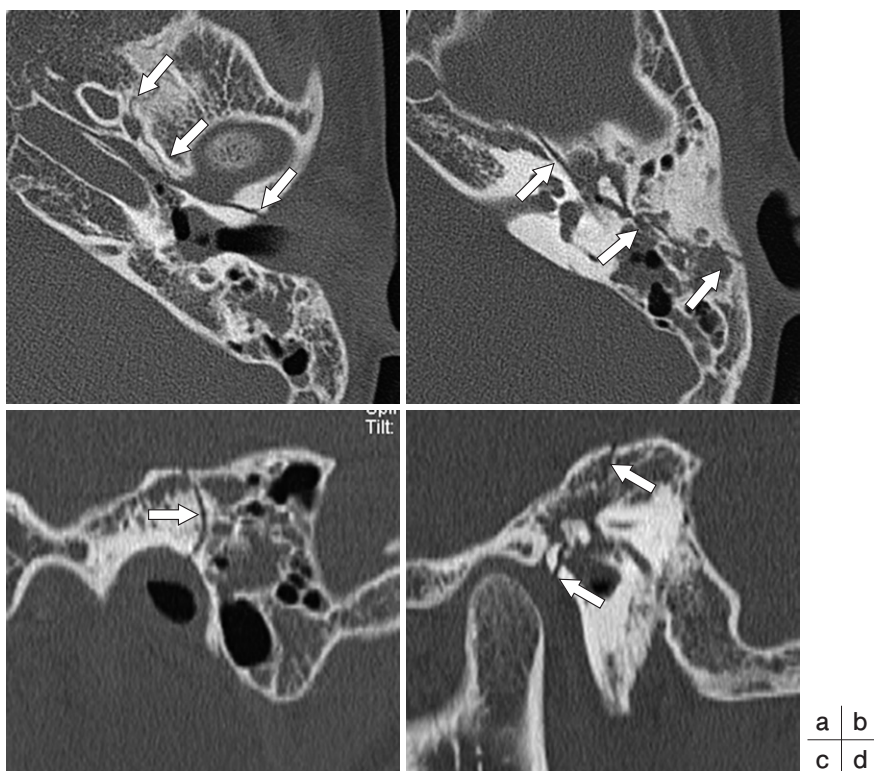


Fig.2 学童男児 交通外傷による側頭骨縦骨折

- a: 左外耳道から棘孔にいたる縦骨折が認められる(矢印).
 b: 骨折線が中耳を貫通し(矢印), 中耳と内耳道に出血を思わせる液体貯留が認められる.
 c, d: 斜矢状断再構成でこれらの所見がより明瞭に描出されている(矢印).



Fig.3 10歳代男性 交通外傷による側頭骨横骨折

- a: 錐体骨の長軸に直行する骨折線がある(矢印)
 b: 頸静脈孔から天蓋に及んでいる.

力により生じ、横骨折は後頭部から前頭部への縦方向からの外力により生じる。縦骨折は比較的弱い外力で生じ、横骨折は強い外力を要する。そのため頻度的には縦骨折が多く、80～90%を占める。この両者を区別することは、起こり得る合併症の理解のために必須である。しかし明確にこれらどちらかの型に分類できないことも多く、合併症の種類・程度・予後予測の観点から画像診断を進めるべきであるとされる。

小児では骨折に伴い、蝶形骨・錐体骨結合の骨縫合離開を生じることがある。

3. 側頭骨骨折の合併症

①聴力障害

縦骨折は骨折線が外耳道から中耳を介して破裂孔に至るため、鼓膜損傷や耳小骨離断を生じる。耳小骨離断はキヌタ骨・アブミ骨関節に多い。そのため80%に伝音性難聴を生じ、それらの約半数に反対側の難聴も伴う。アブミ骨への外圧により外リンパ瘻を生じると、混合性難聴となる。内耳・聴神経は損傷を免れる。横骨折は頸静脈孔から内耳道を横切り、破裂孔・棘孔にいたる骨折を生じる。そのため骨迷路、内耳道、内耳神経に損傷を伴い、感音性難聴を生じる。

②顔面神経麻痺

縦骨折では顔面神経の経路に断裂を生じることが通常ない。時に顔面神経管垂直部を骨折線が横切ることがあり、その場合は麻痺を生じる⁹⁾。多くは遅発性の不完全麻痺である。一方、横骨折では顔面神経麻痺の頻度は高く(成人で約50%)、発症も即発性で、障害程度も高度とされる。内側型横骨折では迷路部や内耳道内で、外側型では膝神経節や近傍の水平部で障害される。時に遅発性麻痺が生じることがあり、顔面神経周囲の出血や浮腫によると考えられている。

③めまい

縦骨折は内耳障害を生じることが少なく、内耳振盪などによる軽度のものが見られる程度である。横骨折では内耳神経や迷路を直接傷害するため、回転性めまいを伴う自発眼振などの前庭機能異常を生じる。

④脳脊髄液漏

縦骨折で天蓋に骨折が及ぶと脳脊髄液漏を高頻度に生じ、小児の反復性髄膜炎の原因となる。乳突洞骨折を介する脳脊髄液漏も起こり得るが、成人よりも頻度は低い。横骨折では正円窓や卵円窓の破壊により、脳脊髄液漏を生じることがあるが、その頻度は縦骨折に比して低い。CTでは脳脊髄液漏の原因となる損傷自体を描出することは難しく、迷路気腫の有無に注意を払う必要がある^{10, 11)}。

⑤血管合併症

縦骨折ではまれにS状静脈洞に損傷が及び大出血を来すことがある。外耳道・鼓膜を損傷するため外耳道出血が見られる。純粋な横骨折では外耳道出血は見られない。ごくまれに骨折が頸動脈孔に及ぶと、頸動脈閉塞・仮性動脈瘤・頸動脈海綿静脈瘻などを生じることがある。

4. 耳小骨外傷

耳小骨離断の原因として、側頭骨への強い外力による間接損傷と、耳かき、綿棒、尖頭異物などによる鼓膜を介した直接損傷(Fig.4)がある¹²⁾。小児では後者の頻度が高く、前者の場合も側頭骨骨折を伴わないことがあるため注意が必要である。受傷直後から伝音性難聴を来す。

耳小骨は鼓膜の振動を内耳に効率よく伝えるために、互いに連結している。すなわちツチ骨は鼓膜に付着し、アブミ骨は卵円窓にはまっており、それらを連結するようにキヌタ骨が懸垂されている。そのため耳小骨連鎖に加速度が生じると、キヌタ骨の偏位が最大になる。間接損傷にキヌタ骨アブミ骨関節離断が最も多く生じるのはこのためである。尖頭異物による直接損傷でも、キヌタ骨の転位の頻度が高く、最も外耳道近くに位置するツチ骨自体の損傷はまれである。

小児の耳小骨を評価する際には、成人よりもさらに高分解のCTによる検討が必要となる。適切な条件で撮影すれば、出生直後の新生児でも耳小骨の同定は可能である。十分な鎮静により体動を抑制し、必要以上に線量を減弱することなく、高分解能を得るようにしたい。

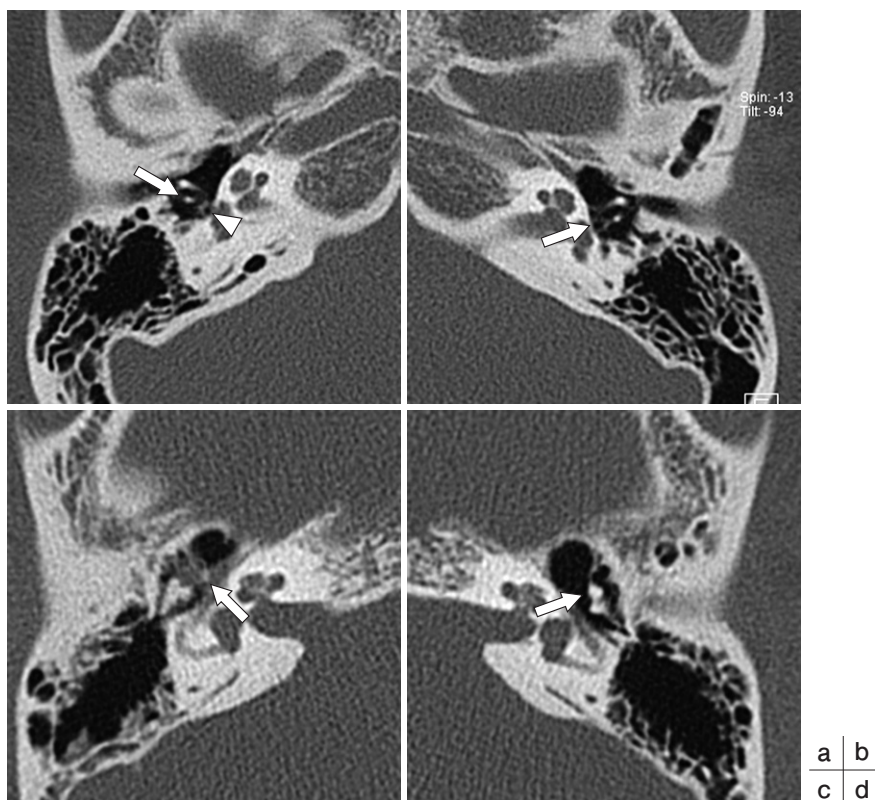


Fig.4 耳小骨外傷

- a: 10歳代男性 交通外傷後に伝音性難聴あり. キヌタ骨(矢印)とアブミ骨(矢頭)が前後にずれており, 離断していることがわかる.
- b: 健側と比較することでより明瞭になる. 側頭骨には明らかな骨折は認められない.
- c: 10歳代男性 尖頭異物(耳かき)による直達損傷. ツチ骨・キヌタ骨関節が離断しており, いわゆるアイスクリームがコーンから落ちたように見える.
- d: 健側の正常なツチ骨・キヌタ骨連鎖では, アイスクリームはコーンの上に乗っている.

眼窩外傷

1. 小児の眼窩の解剖学的特徴

眼窩の基本構造は新生児期からほぼ成人同様に完成している. 最大の違いは眼窩壁を構成する骨が菲薄であることであり, 隣接する副鼻腔などから容易に炎症が眼窩内に波及しうる. しかし外傷に対しては比較的強く, 骨が薄いからといって吹き抜け骨折が起こりやすい訳ではない⁴⁾.

眼球及び眼窩への外傷は, 成人に比して小児で

高頻度に認められ, 直達外力と異物による穿孔とに大別される. 急性期の診断モダリティとして単純写真の役割は限定的で, 眼窩の評価にはCTが, 眼球の評価には超音波が第一選択となる. MRも有用な画像検査となり得るが, 緊急対応が難しく, 金属異物の眼窩内混入が否定できない限りは適応にならないため, その役割は限られる.

2. 眼窩骨折

眼窩骨折は, 直達外力による骨折と吹き抜け骨

折に大別される。

前者は孤発性骨折の場合もあるが、頭蓋骨骨折に合併する複合骨折が多い¹³⁻¹⁷⁾。孤発性骨折は下壁に多く、外側壁は最も厚いためごくまれである。複合骨折は篩骨洞、前頭洞、鼻骨、櫛状板、頬骨弓、前頭頬骨縫合、上顎前壁などの骨折を複合的に含む。なかでも眼窩上壁骨折は成人よりも高頻度に認め、blow-in骨折の頻度が他の部位と比較して多いことが特徴である。その局在から、気脳症、硬膜裂傷による脳脊髄液漏などの頭蓋内合併症、眼球損傷や上眼瞼挙筋・上直筋の嵌頓を引き起こすことがある。

吹き抜け骨折は眼窩内圧の上昇により眼窩壁が破綻し、骨片や眼窩内容物が眼窩外に偏位する骨折である (Fig.5)。定義上、眼窩縁は保たれている必要がある。小児では野球のボールによる打撲が原因として多い。骨折は下壁内側部前方3分の2に生じることが多く、内側壁 (紙様板) がこれに次ぐことは成人と同様である。画像診断に求められることは骨折のみでなく、外眼筋や脂肪組織の脱出の程度も評価が必要なため、急性期にはCTの適応である。骨片がドアのように整復した場合、外眼筋の偏位はほとんど認められなくても、小さな裂隙に絞扼されていることがある。

2. 眼窩内異物

眼窩内異物は、異物残存の有無により治療方針

や合併症の発生頻度が大きく異なっている。そのため画像診断の役割は、異物による眼窩内損傷の程度だけでなく、異物残存の有無・性状・大きさ・形態・遺残位置などの診断を含む¹⁸⁾。この目的を達し得るモダリティはCTである。

眼窩内異物は成人と比較して圧倒的に小児に多く発生する。異物の種類は成人では木片や不慮の飛来物などが多いが、本邦小児では箸と筆記用具が多く、次いで樹木の枝、ガラス片、玩具類のプラスチック片、石などが認められる。材質としては木が多く、CTでは空気に非常に近い吸収値として描出される (Fig.6)。そのため、木製異物が残存しているにもかかわらず、単なる穿孔に伴う空気混入と誤診される例がある。木製異物と単なる空気とを区別する目的で、ウィンドウ幅1,000H.U., ウィンドウレベル500H.U.による表示を推奨する報告もある。

3. 眼球損傷

眼球損傷は永続的な視力障害を惹起することがあり、正確な画像診断が求められる。急性期の第一選択はCTであるが、前眼部に異常がなければ超音波も有用である¹⁹⁾。水晶体脱臼、網脈絡膜剥離、硝子体出血、前房出血などの有無を見る。最重症型として、眼球破裂・強膜損傷に伴う硝子体脱出がある。重度の場合には診断は容易だが (Fig.7)、軽度の場合は眼球の球状形態がやや扁平

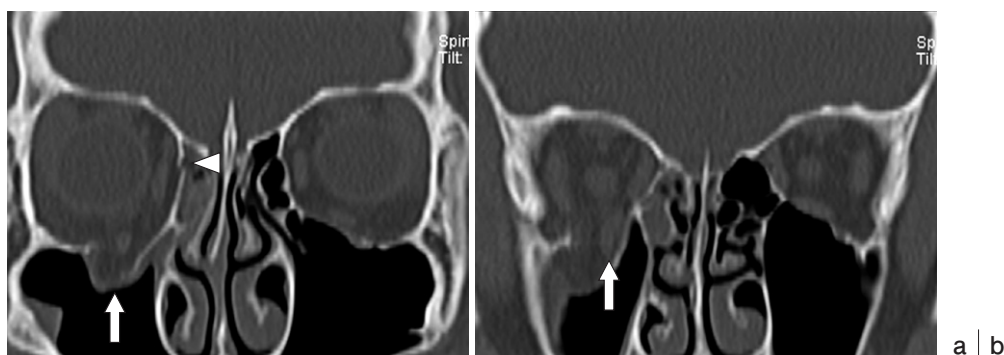


Fig.5 学童男児 眼窩吹き抜け骨折

- a: 野球のボールが右眼に当たり、その後から複視が出現した。冠状断像で眼窩下壁に骨折が認められ、脂肪組織が上顎洞に脱出している (矢印)。内側壁にも骨折を伴っている (矢頭)。
b: やや背側の断面では下直筋の偏位も見られる (矢印)。

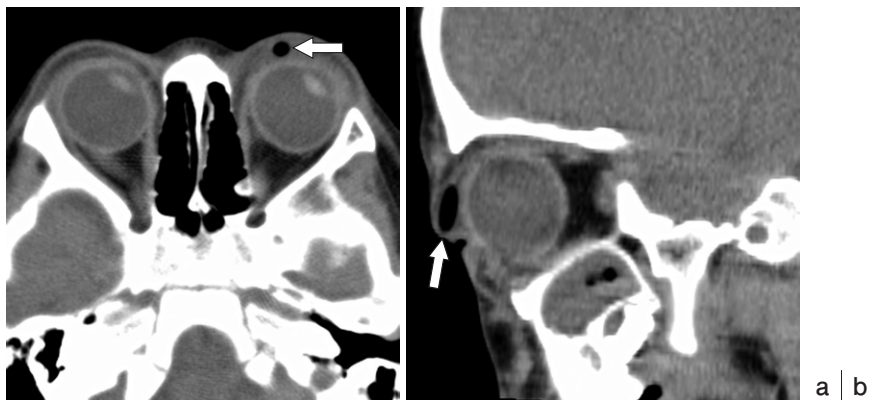


Fig.6 幼児男児 眼窩内異物

塗り箸が眼瞼に刺さり、先端が折れて発見できないと来院。眼瞼内に棒状構造が認められ、箸の先端断端と思われる。木製の箸は空気の吸収値を示すことに注意が必要である。



Fig.7 眼球損傷

a, b: 10歳代男性 野球のバットが右眼に直撃した。眼球背側の筋肉錐内に血腫が認められ、眼球突出を惹起している。眼瞼にも腫脹を伴う。

c, d: 幼児男児 遊んでいる時に大きな勢いで遊具に激突し、左目を直撃した。左眼球が縮小し、辺縁が波打っている。Flat-tire appearanceと呼ばれる所見であり、眼球破裂を意味する。

化する程度でしか捉えられないことがあり (pear appearance, flat tire appearance), 注意深い読影を要する. 遠隔期には石灰化を伴う萎縮に陥り, 成人で時に見られる phthisis bulbi と呼ばれる所見を呈する.

非偶発外傷で認められる網膜出血は有名だが, CTでもMRでも描出できないため画像診断の適応はない.

鼻部外傷

1. 小児の鼻・副鼻腔の解剖学的特徴

新生児期には鼻中隔は厚く真っ直ぐであるが, 成長とともに薄くなり彎曲する傾向となる. 鼻中隔と外壁との成長速度の差や, 門歯の成長の左右非対称性によるとされている. 小児期の鼻道は成人に比して狭い⁴⁾.

副鼻腔は, 新生児では腔としての発達はほとんど認められず, 内部は粘膜様の物質で満たされている. 上顎洞は, 上顎に埋没していた歯牙が口腔槽へと下行するのに伴うように発達していく. そのため乳歯が萌出する6か月頃から発達し始め, 永久歯が萌出する6歳頃まで急速に発達し, 上智歯が萌出する12歳頃に完成する. 篩骨洞は4~5歳頃, 蝶形骨洞は6歳頃から発達し始め, 前頭洞が最も遅れて発達する⁴⁾.

2. 鼻骨骨折

成人の顔面骨骨折では鼻骨骨折が最も多い. 幼少小児では前鼻部外傷は少ないが, 年長児になると他人との衝突やスポーツ, 格闘による鼻骨骨折の頻度が高くなっていく. 単独骨折が多いが, 一部に他の顔面骨骨折を伴う. 単純骨折と粉碎骨折とに分けられ, 骨片は外側に転位することが多い. 詳細な診断にはCTが有用であるが (Fig.8), 外表からの視診である程度の診断が可能のため, 単純撮影のみで治療方針が決定されることも多い. 近年では超音波による評価も導入され, 軟骨も同時に描出できる利点がある²⁰⁾.

顔面中央部外傷

1. 小児の顔面中央部の解剖学的特徴

前述のように, 小児は顔面骨に対して頭蓋冠が大きく, 顔面に比して前額部が相対的に前に出て

いることから, 顔面中央部外傷の頻度は低いとされる. この傾向は幼少児ほど強く, 全顔面骨折のうち5歳未満は1%を占めるに過ぎない. また幼少時には顔面骨間の縫合が閉鎖していないため, 外力の伝わり方も成人とは異なる.

さらに小児期には顎骨は種々の発達段階の歯牙を有しており, 歯牙の萌出状態が骨折の進展に大きく影響する. 未萌出の歯胚は顎骨に弾性をもたらし, また骨皮質が薄く, 相対的に海綿骨が多いと, 骨断裂の少ない若木骨折を生じることがある. 成長過程の顎骨は血流が多く, 骨膜の骨新生が盛んで代謝も活発なため, 迅速な骨癒合が期待でき, 変形を残さないことが多い.

2. 顔面中央部骨折

小児顔面骨骨折の1.5%に見られるに過ぎないまれな骨折であるが, 変形治癒の危険性が大きい骨折である. 2歳未満にはほとんど生じず, 上顎洞の発達や永久歯の萌出に伴って5歳頃から頻度が上昇してくる. Le Fortの分類が有名でType 1~3に分けられるが, 各型の混在した骨折が多く, 厳密な分類は難しいことが多い. 下眼窩神経と鼻涙管の障害を高率に合併する.



Fig.8 幼児男児 鼻骨骨折

野球のバットが鼻に直撃した. 疼痛と変形あり. 鼻骨に転位を伴う骨折が認められ, 全体としては粉碎骨折であった.

3. 外側部骨折

成人の典型的な頬骨上顎複合骨折は3か所（前頭頬骨縫合の上方・頬骨弓外側部および頬骨上顎骨縫合の下内側部）の骨折からなり、骨折部は三脚状に遊離する。小児では骨折部が若木骨折となることが多く、また縫合近傍は骨折ではなく縫合離開することがあり、骨折部は陥凹するだけで遊離しない（Fig.9）。しばしば眼窩外側壁および下壁骨折を伴う。骨折した頬骨が下顎骨鉤状突起を圧迫し、咬合不全を生じることがある。

頬骨単独骨折は直達外力により生じ、3か所の骨折と2個の骨折片から構成される。これも小児では若木骨折となる。

4. 下顎骨骨折

受傷機転として小児では自転車からの転倒と転

落外傷が多い。

下顎骨は仮想的にリングの力学動態を示し、2か所の骨折、あるいは1か所の骨折と1か所の関節脱臼から構成されることが多く、両側性もまれではない。骨折の半数は下顎骨体部の犬歯窩に生じ、歯の長軸に平行な骨折線をたどることが多い。顎部骨折は成人に比して小児に多く見られ、なかでも顎部骨折が多い。

診断には他の部位と同様CTが有用だが、パノラマ撮影も併用される。顎部骨折では骨折片は外側翼突筋の作用により内側に偏位し、関節窩が空虚となるempty TMJ signを呈する。下顎骨の骨折では、他の骨に見られる骨修復の画像経過はあてはまらないことに注意が必要である。骨癒合が完成した後も菲薄化した透瞭線が長期に残存する傾向があるためである。

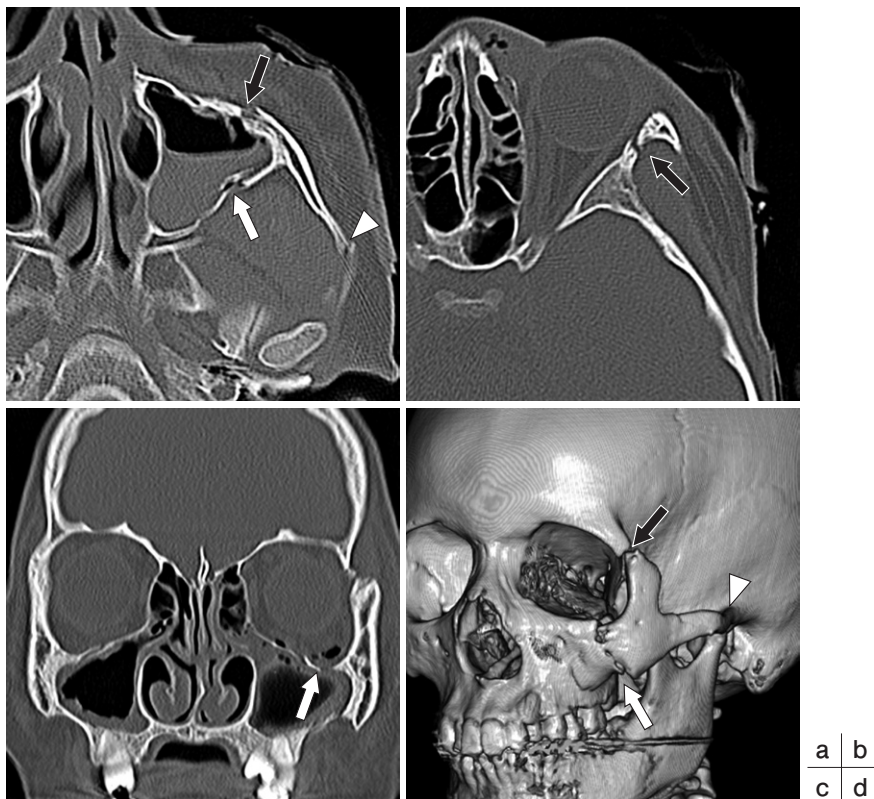


Fig.9 学童男児 交通外傷による頬骨上顎複合骨折

前頭頬骨縫合・頬骨弓、頬骨上顎骨縫合の3か所に骨折があり、骨折片が三脚状に転位している。眼窩下壁の骨折も伴っている。頬骨上顎複合骨折と考えられる。頬骨弓骨折（矢頭）は他の2か所よりも転位が小さく、若木骨折に似る。

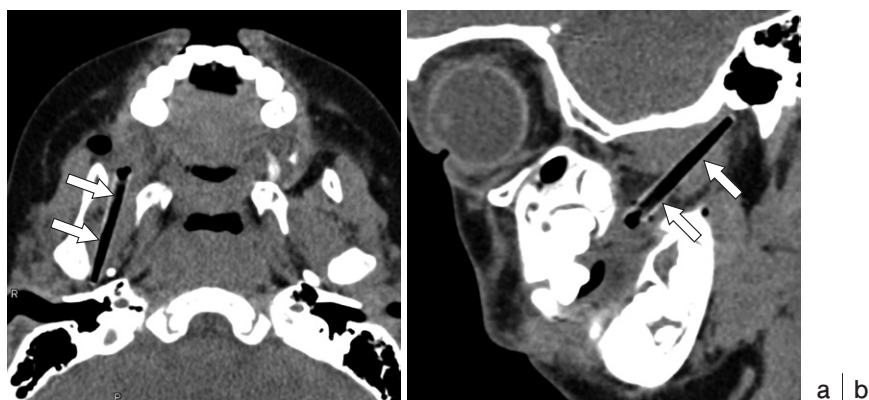


Fig.10 幼児女児 口腔・咽頭異物

- a: 塗り箸を口にくわえたまま転倒した。空気の吸収値を示す棒状構造物が、歯槽の外側から側頭下顎関節にむかって刺さっている。異物除去後にはこのような所見を呈することはなく、遺残した木製異物と考えられる。
- b: 異物にあわせた斜矢状断で明瞭に描出されている。

口腔・咽頭外傷

1. 小児の咽頭外傷の特徴

成人の咽頭外傷の多くが内視鏡などによる医原性であるのに対して、小児の咽頭外傷は尖頭異物によるものが大部分を占め、鈍的異物の停滞がこれに次ぐ。発生状況としては、本邦では箸、串、歯ブラシなどを口にくわえたまま転倒した結果として受傷することが多い。尖頭異物による急性期合併症として最も重要なものは頭蓋内への穿通であり、過去には割り箸の穿通による脳幹部損傷を原因とする死亡事故がマスコミを賑わしたことがある。咽頭内に異物が残存すると膿瘍の原因となるため、急性期に除去する必要がある。

2. 口腔・咽頭異物

眼窩異物の項でも述べたように、箸などの木製異物はCTで空気とほぼ同等の吸収値を呈するため (Fig.10)、異物と認識されないことがある。時に異物の進展経路に咽頭由来の空気が入り込み、異物の存在診断を困難にすることがある。損傷部位としては、口蓋、後咽頭、傍咽頭間隙などが報告されている。

おわりに

小児の顔面・側頭骨外傷は、成人に比して骨折の頻度は概して低い。成長に伴う顔面骨の弾性や骨縫合の変化が骨折のパターンに差異を生じる要因となる。外傷の分類に重きを置くのではなく、合併症の危険性を勘案した画像診断が求められている。

●文献

- 1) Faerber EN, Poussaint TY, Nelson MD : Section 3 Neuroradiology, Part 3 The face and cranial structures, 41 The Orbit. in Caffey's Pediatric Diagnostic Imaging 11th ed. Mosby Elsevier, Philadelphia, 2008, p541-544.
- 2) Chan J, Putnam MA, Feustel PJ, et al : The age dependent relationship between facial fractures and skull fractures. Int J Pediatr Otorhinolaryngol 2004; 68 : 877-881.
- 3) Chapman VM, Fenton LZ, Gao D, et al : Facial fractures in children : unique patterns of injury observed by computed tomography. J Comput Assist Tomogr 2009; 33 : 70-72.
- 4) 河野達夫 : 小児の画像診断 正常との比較を中心に 2. 頭頸部. 臨床画像診断 2011; 27 : 928-936.

- 5) Cinamon U : The growth rate and size of the mastoid air cell system and mastoid bone : a review and reference. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2009 ; 266 : 781-786.
- 6) Wang EY, Shatzkes D, Swartz JD : 6 Temporal Bone Trauma. in *Imaging of the Temporal bone* 4th ed. Thieme, New York, 2009, p412-440.
- 7) King SJ : 8 Temporal Bone Trauma. in *Pediatric ENT radiology*. Springer, New York, 2002, p91-96.
- 8) Kollias SS : 4 Temporal Bone Trauma. in *Radiology of the Temporal Bone*. Springer, New York, 2004, p49-66.
- 9) Corrales CE, Monfared A, Jackler RK : Facial and vestibulocochlear nerve avulsion at the fundus of the internal auditory canal in a child without a temporal bone fracture. *Otol Neurotol* 2010 ; 31 : 1508-1510.
- 10) Adil EA, Choudhary AK, Moser KW, et al : Vestibular pneumolabyrinth : why assessment with temporal bone computed tomography utilizing dynamic focal spot mode is important for the diagnosis. *Emerg Radiol* 2011 ; 18 : 43-45.
- 11) Gross M, Ben-Yaakov A, Goldfarb A, et al : Pneumolabyrinth : an unusual finding in a temporal bone fracture. *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2003 ; 67 : 553-555.
- 12) Meriot P, Veillon F, Garcia JF, et al : CT appearances of ossicular injuries. *Radiographics* 1997 ; 17 : 1445-1454.
- 13) Kubal WS : Imaging of orbital trauma. *Radiographics* 2008 ; 28 : 1729-1739.
- 14) Joshi S, Kassira W, Thaller SR : Overview of pediatric orbital fractures. *J Craniofac Surg* 2011 ; 22 : 1330-1332.
- 15) Lee HJ, Jilani M, Frohman L, et al : CT of orbital trauma. *Emerg Radiol* 2004 ; 10 : 168-172.
- 16) Gorospe L, Royo A, Berrocal T, et al : Imaging of orbital disorders in pediatric patients. *Eur Radiol* 2003 ; 13 : 2012-2026.
- 17) Patel PN, Kenney IJ : A rare case of 'blow-up' fracture of the orbit in a child. *Pediatr Radiol* 2009 ; 39 : 869-871.
- 18) Nagae LM, Katowitz WR, Bilaniuk LT, et al : Radiological detection of intra orbital wooden foreign bodies. *Pediatr Emerg Care* 2011 ; 27 : 895-896.
- 19) Silva CT, Brockley CR, Crum A, et al : Pediatric ocular sonography. *Semin Ultrasound CT MR* 2011 ; 32 : 14-27.
- 20) Hong HS, Cha JG, Paik SH : High-resolution sonography for nasal fracture in children. *AJR Am J Roentgenol* 2007 ; 188 : W86-92.
- 21) Slovis T : Section 3 Neuroradiology, Part 3 The face and cranial structures, 45 The Mandible. in *Caffey's Pediatric Diagnostic Imaging* 11th ed. Mosby Elsevier, Philadelphia, 2008, p607-609.
- 22) Shah CC, Ramakrishnaiah RH, Bhutta ST, et al : Imaging findings in 512 children following all-terrain vehicle injuries. *Pediatr Radiol* 2009 ; 39 : 677-684.
- 23) Alcalá-Galiano A, Arribas-García JJ, Martín-Pérez MA, et al : Pediatric facial fractures : children are not just small adults. *Radiographics* 2008 ; 28 : 441-461.
- 24) Chacon GE, Dawson KH, Myall RW, et al : A comparative study of 2 imaging techniques for the diagnosis of condylar fractures in children. *J Oral Maxillofac Surg* 2003 ; 61 : 668-672 ; discussion 673.
- 25) Defabianis P : Condylar fractures treatment in children and youths : influence on function and face development (a five year retrospective analysis). *Funct Orthod* 2001 ; 18 : 24-31.
- 26) Park SH, Cho KH, Shin YS, et al : Penetrating craniofacial injuries in children with wooden and metal chopsticks. *Pediatr Neurosurg* 2006 ; 42 : 138-146.
- 27) Gregori D, Salerni L, Scarinzi C, et al : Foreign bodies in the upper airways causing complications and requiring hospitalization in children aged 0-14 years: results from the ESFBI study. *Eur Arch Otorhinolaryngol* 2008 ; 265 : 971-978.
- 28) Marom T, Russo E, Ben-Yehuda Y, et al : Oropharyngeal injuries in children. *Pediatr Emerg Care* 2007 ; 23 : 914-918.
- 29) Brietzke SE, Jones DT : Pediatric oropharyngeal trauma: what is the role of CT scan? *Int J Pediatr Otorhinolaryngol* 2005 ; 69 : 669-679.
- 30) Bar T, Zagury A, Nahlieli O, et al : Delayed signs and symptoms after oropharyngeal trauma in a child. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2002 ; 94 : 15-17.

特集 外 傷

4. 小児骨折の勘どころ：四肢の骨折を中心として

榎殿文香理, 河野達夫, 藤田和俊, 西村 玄

東京都立小児総合医療センター 診療放射線科

Essentials of pediatric fractures

Akari Makidono, Tatsuo Kono, Kazutoshi Fujita, Gen Nishimura

Department of Radiology, Tokyo Metropolitan Children's Medical Center

Abstract

Skeletal injuries are common in children. There are differences between pediatric and adult fractures such as incomplete fractures and physeal injuries. While most pediatric fractures heal early and completely with conservative procedures, there are some fractures that need prompt surgery. It is important to know the characteristics of pediatric fractures and initiate adequate treatment. Here we show major pediatric fractures.

Keywords : *Pediatric, Fracture, Radiography*

はじめに

小児において骨折の頻度は高く、様々な部位で見られるが、特に前腕、鎖骨に多い¹⁾。

成人と共通する点も存在する一方で、後述のように、成長している小児の骨においては成人と異なる骨折の形態、注意すべき点などもある。また、治癒が早く、保存的加療でほぼ完全な治癒を望めることが多いが、早期に手術を要する骨折も存在する。さらに、脱臼、骨端線損傷を合併する骨折もあり、これらは見落とされると慢性化したり、変形治癒を来してしまう。このような骨折を知り、早期に適切な治療を開始することが、患児の予後改善をもたらす。

本稿では、すべてを網羅することは難しいが、小児骨折の代表的なものに触れていくこととする。

小児の骨折の特徴

小児の骨は多孔質で弾力性に富むため、小さな外力で骨折しやすい²⁾。弾性の限界で骨折に至らず変形を来し、さらにストレスが加わると骨折を

来す。このような特徴から、小児においては不完全骨折 (incomplete fracture) を来しうる³⁾。

もう一つの特徴として、小児の骨は成長しており、骨膜性骨形成および骨・軟骨のリモデリングが旺盛であるため、骨折した場合、治癒が早く、また当初変形治癒したものでかなりの程度まで矯正される。また骨膜が厚いため全周が完全断裂することは少なく、転位が少ないため整復が容易となる²⁾。一方で、成人とは異なり、骨端線 (成長板) が存在し、これは力学的に脆弱で骨折しやすく、小児骨折の20%にみられる。同部の損傷・離解 (physeal injury) は成長障害・変形を残しうる⁴⁾。

1. 不完全骨折 Incomplete fracture

10歳以下で見られることが多く、これ以降で見られることはほとんどない。通常は完全に治癒し、予後は良好であるが、まれに変形を補正するために外科的に“骨折”させることもある³⁾。不完全骨折には、急性可塑性変形 (bowing fracture)、隆起骨折 (torus/buckle fracture)、若木骨折 (greenstick

fracture) がある。急性可塑性変形は明らかな骨折は指摘できず、微細骨折による変形のみが認められるタイプの骨折である。隆起骨折は四肢の過伸展などによる受傷で見られ、未熟な骨に変形の限界を超えてストレスが加わることによって凹側となった側にいわゆる圧迫骨折を来すタイプの骨折である。若木骨折は骨折線が骨髓腔までで止まり、完全骨折に至らないタイプの骨折である。それぞれの模式図と実際の画像を示す (Fig.1)⁴⁾。

※よちよち歩き骨折 Toddler's fracture

自分で歩けるようになり始める生後10か月～3歳のいわゆる toddler age にみられる不完全骨折である。この年齢層の児において、明らかな外傷歴がなく、臨床的に骨折が疑われる場合、本骨折を考えるべきである。狭義では、脛骨遠位1/3骨幹部のらせん状の骨折を指す。広義には、足根骨、中足骨、腓骨といった脛骨以外の下肢骨病変を含むこともある⁵⁾。

2. 骨端線損傷 Physeal injury

不完全骨折とともに小児特有の骨折である。予

後を考慮した Salter-Harris 分類においては5つのタイプに分けられ (Fig.2), グレードが高いほど骨端線の早期閉鎖, 成長障害・変形の可能性が高い。しかしながら, 多くはタイプ I (約10%), タイプ II (約75%) である³⁾。この分類でできるだけ正確な骨接合をした場合, タイプIVまでは障害を残すことがほとんどないとされる。注意を要するのは予後の不良なタイプVであるが, 転位が生じないため診断が難しい⁴⁾。

早期に外科的治療を要する骨折

小児骨折の診断は容易なものから困難なものまで様々である。前述のように小児においては治癒力が高く, 完全な治癒を望めることが多い。しかしながら, 中には早期の適切な外科的治療をしないと変形治癒, 偽関節形成を来してしまう骨折もある。

1. 上腕骨顆上骨折 Supracondylar fracture

小児骨折の中でも発生頻度が高く, 肘関節周囲の骨折では最も多い。6～7歳をピークとしてみられ, 肘関節の過伸展強制によって起こることが



Fig.1 a: 不完全骨折の模式図: 左から順に, 急性可塑性変形bowing fracture, 隆起骨折torus/buckle fracture, 若木骨折greenstick fracture (文献5より)
b: 前腕近位部正面像: 尺骨の急性可塑性変形bowing fractureおよび橈骨の骨折を認める
c: 前腕遠位部正面像: 橈骨の隆起骨折torus/buckle fractureを認める
d: 肘関節側面像: 尺骨の若木骨折greenstick fractureを認める

a	b	c
d		

多い。わずかなbuckle fractureから、転位を伴う完全骨折まで、程度はさまざまである。徒手整復ギプス固定は患者の負担は少ないが、ギプス内で再転位を起こし、外科的治療を要することがある。変形治癒の遺残しやすい骨折であり、血行障害や神経麻痺などの合併症も少なくない^{4,6)}。

単純写真側面像では、骨折部の遠位側骨片が後方へ偏位し、上腕骨遠位の前縁のラインanterior humeral cortical lineが上腕骨小頭の骨化中心の前

1/3あるいはこれより腹側を走る。ただし、きちんとポジショニングされた側面像でない場合、偽陽性となることがあるため、fat pad signや周囲軟部組織の腫脹など副所見も合わせた総合的な診断が重要である (Fig.3)³⁾。

※Anterior humeral cortical line：肘関節単純写真側面像において、正常では上腕骨小頭の骨化中心の真ん中を走る³⁾。

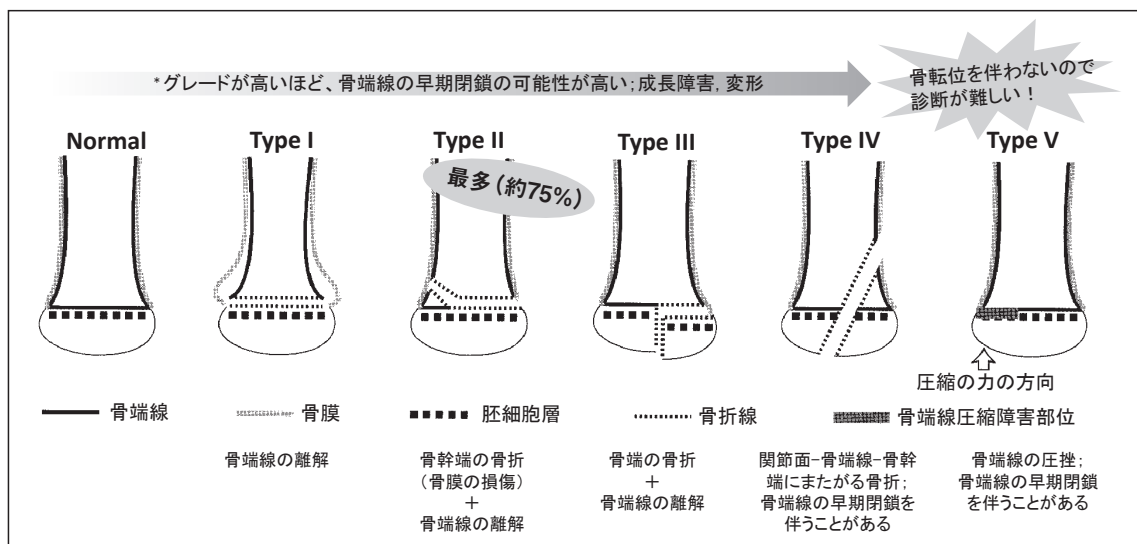


Fig.2 Salter-Harris分類(文献9より)

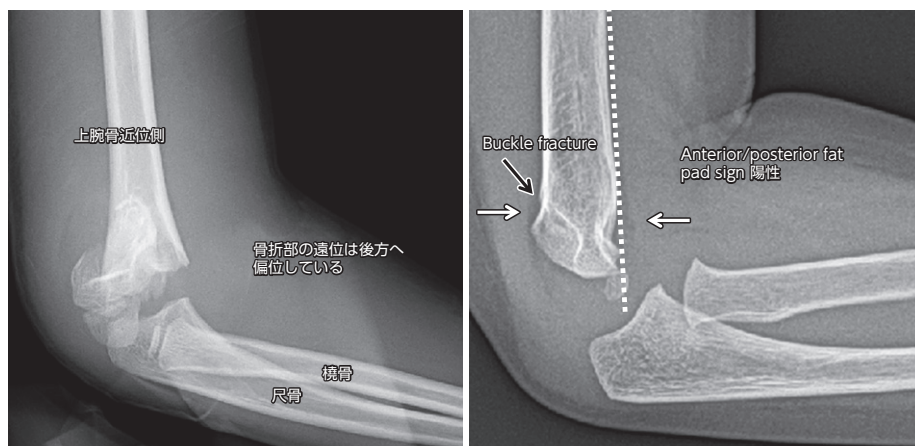


Fig.3 上腕骨顆上骨折, 肘関節側面像

a: 明らかな骨転位を伴う complete fracture

b: 骨転位のほとんどないbuckle fracture: anterior humeral cortical line (破線) は上腕骨小頭の前縁を通過している

a | b

※Fat pad sign：肘関節単純写真側面像でみられるサインである。Anterior fat pad sign, posterior fat pad signがある。前者は鉤突窩のfat padを反映しており、正常でも透過性亢進域として描出されるが、関節内血腫/水腫の場合、fat padは上方へ転位し、anterior fat pad sign陽性となる。後者は肘頭窩のfat padを反映しており、正常では上腕骨内外顆の陰影に隠れて描出されないが、関節内血腫/水腫の場合、fat padは上方へ転位し描出されるようになり、posterior fat pad sign陽性となる。正常では見えないものが関節内血腫/水腫を来すような状態で見えるようになるサインであるposterior fat pad signの方が診断能は高い⁴⁾。

2. 上腕骨外顆骨折 Lateral condyle fracture

上腕骨下端の関節内骨折で、Salter-Harris分類のタイプⅣの骨端線損傷に相当する。肘関節周囲の骨折では上腕骨顆上骨折に次いで2番目に多くみられる。骨端線損傷を伴う場合、適切に治療されないとのちに偽関節や外反変形、外顆骨端核の壊死を来すことが多い。骨折線が上腕骨滑車部にかかる場合には橈尺骨が亜脱臼位をとることが多く、末梢骨片は外方転位や回旋転位を来しやすい。

単純写真では、外固定で癒合が期待できる安定型と整復固定術を要する不安定型を鑑別することが重要である。また、骨片の初期転位が軽度であつ

ても、外固定中に転位が増強するlate displacement (LD) に注意が必要である。安定型と診断した場合でも、短期での画像フォローを行い、LDの有無、不安定型ではないことを確認する必要がある (Fig.4)^{4,6)}。

骨折を見つけただけで 安心してはいけない

純粋な肘関節脱臼はまれで、多くはcomplete/incomplete fractureに合併して起こる。脱臼に対する適切な治療がなされない場合、陳旧化してしまう^{4,6)}。

1. Monteggia骨折 Monteggia fracture

尺骨の近位1/3骨幹部骨折と橈骨頭の脱臼を合併した状態である。尺骨の骨幹部骨折を認めた場合、本骨折を疑い、肘関節を含めて単純写真を撮影する必要がある。また、脱臼を診断しても、純粋な脱臼は小児においてきわめて少ないことを考慮して、骨折がないか注意して検索する姿勢が必要である⁶⁾。

疼痛や前腕の回旋のため、X線撮影で正しい肘関節正面像および側面像を得ることはときに困難である。そこで、橈骨頭の脱臼を見つける手立てを紹介したい。上腕骨小頭と橈骨頭は関節しており、このため橈骨の長軸は、肘関節の屈曲・伸展、前腕回内・回外のいかなる肢位、いかなる撮影方向でも上腕骨小頭へ向かう。橈骨長軸が上腕骨小

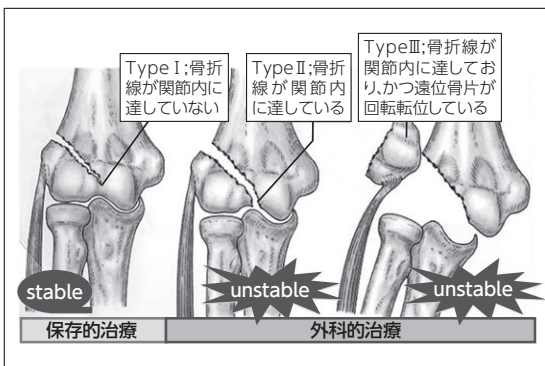


Fig.4 上腕骨外顆骨折、肘関節正面像

a: 上腕骨外顆骨折の安定型、不安定型の模式図 (文献4より)

b: 骨転位のない安定型

c: 骨転位を伴う不安定型

a | b | c

頭へ向かっていない場合、脱臼が疑われる⁴⁾。ただし、橈骨頭の骨端核が出現していない場合、橈骨頭の脱臼を見逃してしまうことが多いため注意が必要である (Fig.5)⁶⁾。

※Monteggia類似骨折 Monteggia equivalent fracture：尺骨に明らかな骨折がなくても、若木骨折や急性可塑性変形により弯曲変形を起こし、橈骨頭が前方へ脱臼していることがある。つまり、尺骨の不完全骨折と橈骨頭の脱臼を合併した状態である。明らかな骨折が認められなくても、小児においては不完全骨折に注意したい (Fig.6)⁶⁾。



Fig.5 Monteggia骨折, 肘関節側面像
尺骨の骨幹部骨折と橈骨頭の脱臼を認める。

2. Galeazzi骨折 Galeazzi fracture

橈骨骨幹部骨折と遠位橈尺関節脱臼を合併した状態である。橈骨骨幹部骨折を認めた場合は、手関節撮影を行い遠位橈尺関節の評価も行う必要がある。遠位橈尺関節脱臼は三角線維軟骨複合体 (TFC) 断裂や尺骨茎状突起骨折を伴うことが多く、MRによる精査が必要なこともある (Fig.7)。

※Galeazzi類似骨折 Galeazzi equivalent fracture：橈骨骨幹部骨折に、遠位橈尺関節脱臼ではなく、尺骨遠位骨端線損傷を合併した状態である。これは小児特有の骨折であり、変形治癒・成長障害を残しうるため注意が必要である⁶⁾。

骨折の可能性を忘れてはいけない

肘内障 Pulled elbow

橈骨輪状靭帯が橈骨頭から脱転し、橈骨頭と上腕骨小頭との間に陥頓した状態である。小児の四肢骨関節外傷のなかで最も頻度の高い外傷で、2歳前後をピークとしてみられる。一般には手を急に牽引された後から上肢を動かさなくなり、患肢をだらりと下げて前腕は軽度回内位をとり、あまり動かそうとしない、という典型的な病歴と身体所見を有するため、診断は比較的容易である。

肘内障の診断において、単純写真の有用性はそれほど高くはない。橈骨と尺骨の関係が変化することの報告もあるが、断定的な所見としてとることは難しい。むしろ、単純写真では骨折の有無、そ

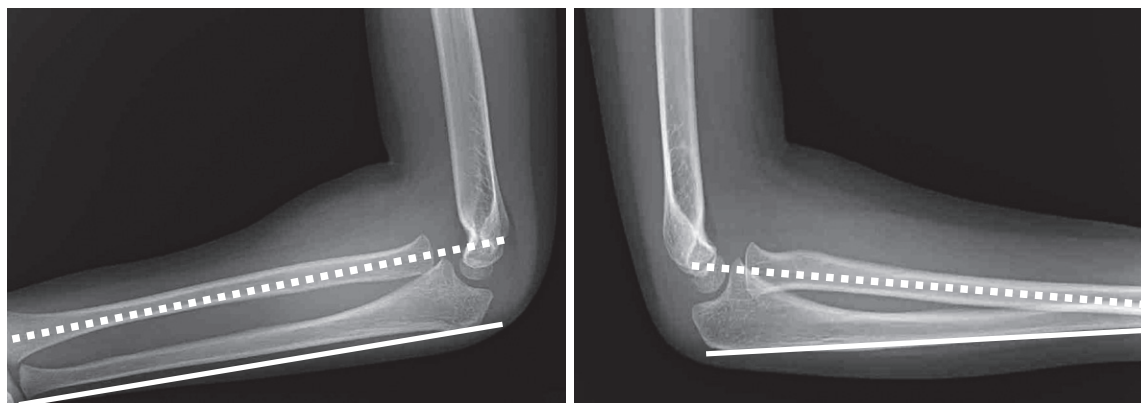


Fig.6 Monteggia類似骨折, 肘関節側面像
a: 患側：尺骨の急性可塑性変形と橈骨頭の脱臼を認める。
b: 健側

a | b

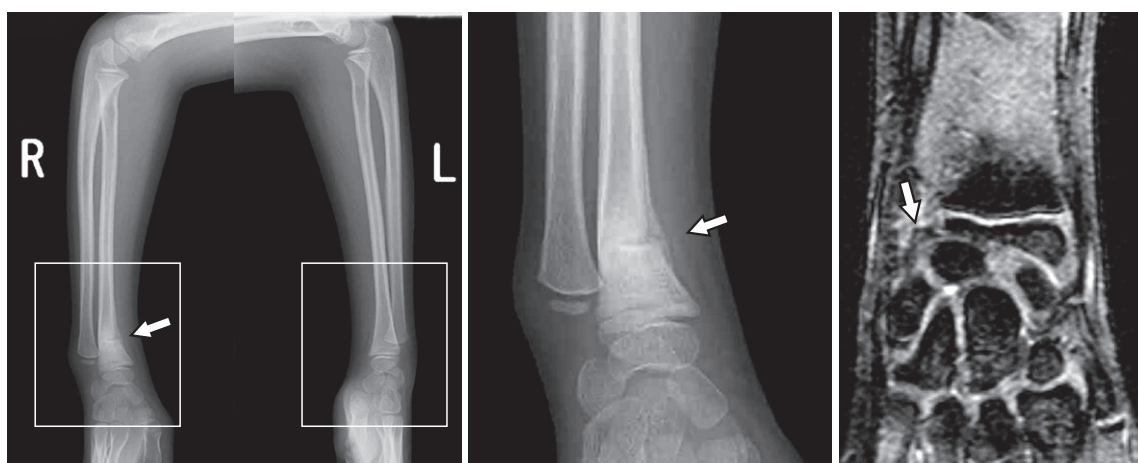


Fig.7 Galeazzi 骨折

a | b | c

a: 両側前腕側面像：右側の橈骨遠位骨幹部骨折と遠位橈尺関節の脱臼を認める。

b: 右側病変部拡大図：骨折部には仮骨形成が認められる。

c: 右手関節MR冠状断像(T2*WI)：三角線維軟骨複合体(TFC)断裂を認める。

して fat pad sign の有無に注意したい。Fat pad sign 陽性の場合、少なくとも関節血症が疑われるので、肘内障の整復手技をむやみに行ってはならない。骨折が明らかでなくても、上腕骨外顆骨折や肘頭骨折の可能性があり、シーネ固定を行い、経過観察を行うべきである⁴⁾。

次の診察はないかもしれない

児童虐待 Child abuse

一般に、児童虐待は保護者がその監護する児童に対し行う行為とされ、身体的虐待、ネグレクト、性的虐待、心理的虐待に分けられる。児童虐待に関する報告は1888年のWest⁷⁾の報告に端を発し、1954年にCaffey⁸⁾が説明のつかない小児の長管骨骨折もしくは硬膜外血腫が認められた場合、各々の存在を疑い精査の必要があることを示唆して以来、虐待に関する症例報告が徐々に増加した⁴⁾。

被虐待児が正確な病歴を持って病院へやってくる機会は少なく、その診断に苦慮することは少なくない。しかしながら、不幸にも診断に至らなかった場合、再度虐待を受け不幸な結果を招きかねない。児童虐待を疑った場合には、「次回診察」はないかもしれないという心構えで取り組むべきである。特徴的な画像所見を知り、その所見を見つけてることによって(身体的)虐待の可能性を想起し、早期の診断・対応へつなげることが重要である。

Table 1 被虐待児にみられる骨病変(文献3より)

頻度が高い	頻度がやや低い	頻度が低い
多発骨折	脊椎骨折	肩甲骨骨折*
骨幹端病変*	手足の小さな骨の骨折	骨盤骨折
多発肋骨骨折*	鎖骨骨折	胸骨骨折
骨幹部骨折	脱臼, 骨端の離解	顔面, 下顎の骨折
頭蓋骨骨折		
骨膜反応		

* 被虐待児でとても特徴的な所見

多発する時相の異なる骨折は本疾患を強く示唆するが、低出生体重児、代謝性疾患、骨系統疾患などの骨折しやすい背景疾患の鑑別が必要である。また、児童虐待の診断には骨折などの外傷の状態と受傷機転が合致しうるか否か、偶発的な外傷ではないか、検証が必要である。たとえば、およそ1mの高さから硬い表面を有する場所へ転落した場合、頭蓋骨の線状骨折を来しうるが、長管骨の骨折や中枢神経系の損傷を伴う可能性は少ない。これまでに、児童虐待に特徴的な骨の損傷形態、分布は多く報告されており、それらを頻度とともに示す(Table 1)。これらの中で、多発肋骨骨折、骨幹端病変、頭蓋骨骨折は1歳未満で多く、骨幹部の骨折はこれより年長児に多い。これらの

Table 2 単純写真における骨折の経時的变化
(文献3より)

	Early	Peak	Late
軟部組織の腫脹の改善	2～5日	4～10日	10～21日
骨膜下の新生骨の形成	4～10日	10～14日	14～21日
骨折線の消失		10～14日	14～21日
ぼんやりとした仮骨形成		10～14日	14～21日
はっきりとした仮骨形成	14～21日	21～24日	42～90日
リモデリング	3か月	1年	2年～ 骨端線閉鎖

所見を認めた場合、まず児の安全を確保した後、体表観察、頭蓋内病変、眼底出血など更なる検査を迅速に行う必要がある³⁾。

骨折の治癒過程、 単純写真上での経時的变化

骨折では、骨および骨膜の損傷が起こる。この治癒過程は炎症期 (inflammatory phase) →修復期 (reparative phase) →リモデリング期 (remodeling phase) から成る。まず、骨折部周囲には血腫が形成され、この内部には壊死した骨・骨髄、周囲の軟部組織が含まれる。まず血腫の器質化が始まり、血腫内の軟部組織由来の骨芽細胞と破骨細胞が出現し、さらに血腫内に毛細血管が新生し始める (炎症期)。次に仮骨形成が始まり、骨片同士をつなぐ (修復期)。最後に仮骨は成熟した骨によって置き換えられ、治癒する (リモデリング期)。この過程は単純写真で、骨折線の消失、仮骨形成と

してとらえることができる。これらの変化は骨折後10～14日ではっきりと認められるようになる。このため、受傷直後には単純写真で検出困難な骨折も、この時期に再検することによってはっきりと検出することができる。逆に、これらの所見が認められた場合、骨折後どの位の時間が経過しているか考える手立てともなる (Table 2)³⁾。

●文献

- 1) Herring JA (ed) : Tachadjian's Pediatric Orthopaedics from the Texas Scottish Rite Hospital for Children, 4th edition. Philadelphia, Saunders, 2008, p2355-2356.
- 2) 日本小児整形外科学会 教育研修委員会 : 小児整形外科テキスト. 東京, MEDICAL VIEW, 2004, p225-266.
- 3) Slovis TL (ed) : Caffey's pediatric diagnostic imaging, 11th edition. Philadelphia, Mosby, 2008, p2776-2830.
- 4) 岩本幸英 (ed) : OS NOW Instruction 小児の骨折・外傷 手技のコツ&トラブルシューティング. 東京, メジカルビュー, 2007, p23-41, 76-91, 105, 211-219.
- 5) Martino F (ed) : Imaging of Pediatric Bone and Joint Trauma. Millan, Springer-Verlag Italia, 2011, p9-15.
- 6) 戸山芳昭 (ed) : アトラス骨・関節画像診断 3. 外傷. 東京, 中外医学社, 2011, p27-33, 56-62.
- 7) West S : Acute periosteal swelling in several young infants of the same family probably rickety in nature. Br Med J 1888 ; 1 : 856-857.
- 8) Caffey J : Multiple fractures in long bones of infants suffering from chronic subdural hematoma. AJR Am J Roentgenol 1946 ; 56 : 163-173.
- 9) 荒木 力, 原 裕子編 : すぐわかる小児の画像診断. 東京, 秀潤社, 2011, p351.

CTの被ばくおよびLow-Dose CTのための工夫

中浦 猛

天草地域医療センター 放射線科

Low radiation dose protocol for abdominal CT : Usefulness of low kvp scan and hybrid iterative reconstruction algorithm (iDose™)

Takeshi Nakaura

Diagnostic Radiology, Amakusa Medical Center

Abstract The lifetime cancer risk based on current computed tomography (CT) use has been estimated to be lower than other risk factors such as diet and viruses, etc. Recent reports have shown that use of CT has increased dramatically over the last two decades in many countries. CT alone accounts for about half of all medical radiation doses. As a result, attention has recently focused on the potential risks of radiation-induced carcinogenesis from CT.

Low kVp scanning offers reduced radiation and increased enhancement of contrast material because the x-ray output energy at these low voltages is closer to the iodine K edge of 33 keV. The disadvantage of low kVp scan is increased image noise during abdominal scanning. However, the increase in contrast enhancement is higher than the increase in image noise. As a result, the contrast-to-noise-ratio (CNR) is increased at low kVp scanning and the same CTDI. Additionally, an iterative reconstruction algorithm for CT was introduced to help reduce the quantum noise associated with filtered back-projection (FBP) reconstruction algorithms. These techniques might be useful for radiation dose reduction at abdominal scanning.

In this paper, we reported the potential risks of radiation-induced carcinogenesis from computed tomography, the radiation dose at pediatric CT, and the usefulness of low kVp scan and hybrid iterative reconstruction algorithm (iDose™) reconstruction for radiation dose reduction at abdominal scanning.

Keywords CT, Radiation Dose, Low tube voltage, Iterative reconstruction

近年、CT検査の被ばくによる発癌が注目されているが、CT検査のような低線量被ばくによる発癌リスクの増加は完全には証明されておらず、喫煙、食事、ウィルスなどと比較してかなり低いことが予想されている。しかし、最近ではCTの

有用性の高さからCTの対象となる患者数と患者1人当たりの検査回数が増加し、CTの高速化・高性能化からCTの1件あたりの被ばく線量も増加しており、CTによる医療被ばくは急激に増加している。CTスキャンに関連する個々の発癌リス

クは非常に小さいと考えられるが、こうした僅かなリスクにさらされている患者が社会全体としては増加していることが問題となる可能性があり、CTの被ばくが注目されている原因と思われる。

小児のCTは①成人より放射線に対する感受性が著しく高いこと、②平均余命が長いこと放射線障害が発現する機会がより多くなること、③体格が小さいため、成人と同様の撮影条件では、臓器あたりの被ばく量は2倍から5倍になること¹⁾などの要因から特に被ばくに注意する必要がある、CT検査の適応を厳密に検討し、小児に最適化した低被ばくプロトコルを使用することが推奨されている。しかし、多列検出器型CT (MDCT)の急性腹症や外傷などの診断能は非常に高く、小児においても被ばくのリスクと診療上のベネフィットを考慮した場合はベネフィットが上回る場合がほとんどである。小児のCTによる医療被ばくを可及的に減少させる為には、低被ばくプロトコルの導入は必須である。

近年では小児の低被ばくCTプロトコルとして低電圧撮影が推奨されており、近年導入された逐次近似再構成法も有用と思われる。今回、低電圧撮影の基礎と被ばく低減への応用、フィリップス社の逐次近似再構成アルゴリズムであるiDose™の初期経験について報告する。

CTによる発癌リスク

CTは小児においても非常に有用であり、外傷や急性腹症の診断には欠かすことのできない検査である。しかし、CTはその有用性から過去20年間で劇的に増加しており、2007年のアメリカでは年間7200万件のCT検査が行われている²⁾。また、比較的被ばくの多い検査でもあることから、今日では医療被ばくの半分はCTによるものである³⁾。

放射線の人体に対する影響は急性期障害と慢性期障害があるが、医療被ばくにおいては通常慢性期障害の中の発癌のみが問題となる。放射線の発癌への影響については、広島や長崎の原子爆弾の被害者やチェルノブイリ原発事故の被ばく者などの症例を基にした研究がほとんどであり、最近では原発で働く労働者などを対象にした臨床研究もある。しかし、このような研究で明確にわかっていることは「一度に多量の被ばくを受けた場合は

発がんリスクが上昇し、そのリスクは線量とともに増加する」⁴⁾ことのみであり、100mSv以下の被ばくによる影響は線形性がある(しきい値なしの直線モデル)という証拠もないものの、これを否定するような証拠もない。それどころか、実際に発癌リスクがあるかどうかは証明されてはおらず、CTで被ばくするような低線量の被ばくによる発がんリスクはほとんどわかっていないのが現状である。

低線量放射線による発癌リスクが確認されていない理由は喫煙、食事、ウイルスなどの他のリスク因子と比較して、放射線による発癌リスクがかなり低いと思われる。放射線防護に対する指針で最も広く用いられているBEIR-VIIでは、放射線の発癌リスクに対して「しきい値なしの直線モデル」を採用しているが、かなり厳しいと思われるこのモデルでも100mSv以下の放射線による発癌の増加は1%以下である。リスクを推定するためにはこのような低線量で被ばくした集団を集める必要があるが、実際にはタバコなどのさらに高リスクな因子の影響が強いため、被ばくのみの影響を検出するためには非常に大きな集団が必要となる。現時点ではそのような大規模な低線量被ばく者のデータはなく、CTのような低線量被ばくの発癌への影響については推定する他ないのが現状である。このような状況ではCTによる診断が必要な場合に被ばくのためにCTの使用を躊躇すべきでないものの、「よくわかっていないから、いくら被ばくさせても大丈夫」と考えるのは危険であり、やはり「よくわかっていないから、必要最低限の被ばくで撮影を行う。—ALARA (as low as reasonably achievable)」と考えることが重要と思われる。

小児CTでの被ばく

小児では放射線による発癌リスクが成人よりも高いことが広く知られている。

1. 細胞の放射線感受性

動物実験のデータによれば、若い生物ほど放射線に対する感受性が高い。これは若い生物ほど分裂している細胞やこれから分裂する細胞が多く、そのような細胞は分裂を休止している細胞より放射線に対する感受性が一般的に高い。

2. 予後

小児は成人と比較すると平均予命が長く、当然ながら放射線障害が発現する機会がより多くなる。しかし、逆にいえば検査で疾患による死亡確率が減少した場合の寿命延長効果は小児の方が高い。

3. 体格による被ばく増加

一般にCTで同等の条件で撮影した場合、小児の実効線量は成人の2～5倍程度になる¹⁾。小児に限らず体格が小さい場合は皮下脂肪や筋肉が薄く、体の直径も小さいため、内臓に高線量の放射線が到達する。しかし、組織荷重係数(ICRP2007, Table 1)は皮膚や筋肉、皮下脂肪などの体表の臓器は低く、内臓では高くなっているため、結果として被ばく線量が大きくなるためである。

これらのことから小児のCT検査については慎重になる必要があるが、画質を落とすのは問題があると思われる。なぜならば小児では検査によって死亡確率が低下した場合の寿命延長効果が大きく、言い換えれば同じCT検査でも成人よりも検査の重要性が高いためである。CTのような低線量放射線による被ばくでの危険性は比較的低いと思われているが、急性腹症や外傷などのCTによる精査が必須の状況で、CTの画質が十分でない場合の損失は計り知れず、十分な画質を保ったまま被ばくを低減するのが重要であろう。

被ばく低減の工夫

一般にCTの画質評価で一般的に使われているのはコントラストノイズ比(contrast to noise ratio: CNR)であり、CTの被ばく線量の目安に用いられているCTDIやDLPの二乗はノイズに反比例するという性質があることから、CNRをCT施行者が調整可能なコントラスト(造影CTの場合はほぼ造影剤量に比例)とCTDIとの関係で表すと下記のよう

$$\begin{aligned} \text{CNR} &= \frac{\text{Contrast}}{\text{Noise}} \\ &\propto \frac{\text{Contrast}}{\sqrt{1/\text{CTDI}}} \\ &= \text{Contrast} \times \sqrt{\text{CTDI}} \end{aligned}$$

Table 1

組織・臓器	組織荷重係数	組織・臓器	組織荷重係数
乳 房	0.12	食 道	0.04
骨 髄	0.12	肝 臓	0.04
結 腸	0.12	膀 胱	0.04
肺	0.12	骨表面	0.01
胃	0.08	皮 膚	0.01
生殖腺	0.08	脳	0.01
甲状腺	0.04	唾液腺	0.01

よってCTDIは下記のような式でも表すことができる。

$$\text{CTDI} \propto \frac{\text{CNR}^2}{\text{Contrast}^2}$$

このことから施行者が被ばくを低減するには、低画質を許容するか、造影剤を増やしてコントラストを上昇させる⁵⁾必要があった。しかし、最近では低電圧や逐次近似再構成を用いることにより、画質を保ったまま被ばく線量を減らすことが可能となっている。

脚注) CTDIとDLP

CT検査の線量指標で撮影時にdose reportの中に記録される。CTによる放射線被ばくは、管電流、管電圧、撮影ピッチ、回転速度、患者の体格、CTの機種など多数の要因により変動する。

CTDI(CT dose index: 単位mGy)は、頭や胴体を模したファントム内で計測された吸収線量を、中心や周辺で重みづけし、スキャンのビーム幅と撮影ピッチで除して求めるもので、撮影している局所の線量指標となるものである。このCTDIに撮影範囲の長さ乗じたものがDLP(Dose Length Product: Gy・cm)であり、被ばくの総量を示す指標となる。このDLPに一定の係数をかけることで患者個人への影響の指標となる実効線量の推計を行う。

低電圧CT

低電圧CTはヨード造影剤の造影効果が改善するため(Fig.1)、造影剤の減量には非常に有効なテクニックである⁶⁾。これはヨードの質量減弱係数(μ/ρ)はX線エネルギーが低下するにしたがって上昇するためである。Fig.2にX線のエネルギーおよびiCTの実効管電圧とヨードの質量減弱係数

(μ/ρ)の関係を示すが、低電圧撮影ではヨードの質量減弱係数が急激に増加していることがわかる。一方で低電圧撮影の欠点としてはノイズの上昇があるが、CTDIvolが同一の場合は低電圧によるノイズの増加はコントラストの上昇と比較すると軽度である。Fig.3にiCTで行ったファントム実験(腹部ファントムおよび各種濃度の造影剤ファントムで造影効果、ノイズを計測したもの)の結果を示すが、120kVpから80kVpに電圧を低下させることによって、造影剤のCT値は65%増加し、ノイズも17%増加しているものの、CNRは47%増加している。また、100kVpではSDの上昇は3%程度であり、造影効果は27%増加することから、CNRは

21%増加している。

この低電圧撮影によるCNRの上昇は造影剤の減量に用いられることが多いが、造影剤を減量せずに低電圧撮影を行った場合は造影剤を増量したのと同様の効果が得られるため、被ばく線量の低減に使用することができる。我々は痩せた大人の腹部造影CTにおいて120kVpから80kVpに電圧を低下させることによって、CNRが増加し、被ばくも低下することを報告している⁷⁾。また、この論文では画像の観察の際に広いウィンドウ幅(window width : WW)を使用することにより、低電圧CTの視覚評価が改善することも報告している。

小児のCTではさらに低電圧CTが有用と思われる

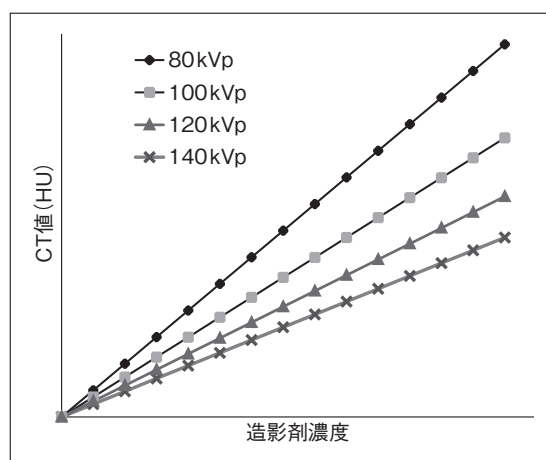


Fig.1 電圧と造影効果の関係

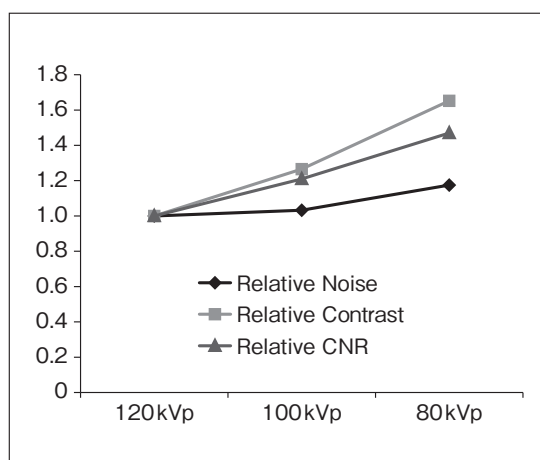


Fig.3 同一CTDIw時のヨードのCNR

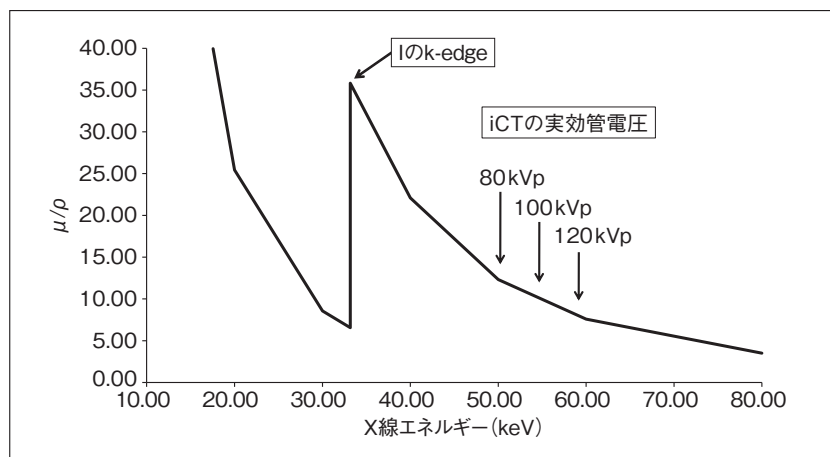


Fig.2 ヨードの質量減弱係数(μ/ρ)とX線エネルギーの関係

る。なぜならば低電圧CTのノイズの増加は、対象が小さい場合は少ないためである。我々の以前の検討から、WWはやや広くしたほうが良いと思われる。当院では最近までiDoseが導入されていなかったため、腹部dynamic CTにおいてはTable 2の低電圧撮影をルーチンとしていた。この条件は極端な低被ばく撮影ではないものの、非常に良好な画質が安定して得られるものであり、Auto mAによって体格にあわせた線量で撮影される。Fig.4はこのような条件で撮影されたものである。体重30kgの9歳男児であるが、CTDIが6.7mGyと低い割にかなり良好な画質が得られており、左腎盂腎炎の所見であるくさび状の低吸収域が明瞭に描出されている。

Table 2

管電圧	100kVp
管電流	Auto mA (小児ではかなり低下)
Reference CTDI	12mGy (成人の75%)
Rotation time	0.5sec (呼吸停止困難な場合 0.33~0.4sec)
Helical pitch	0.8
Window Level	50HU (成人*1.25)
Window Width	350HU (成人*1.25)
造影剤使用量	300mgI/kg
造影剤注入時間	30sec

iDose™

iDoseは逐次近似法を応用した画像再構成法—ハイブリッド型逐次近似画像再構成で、従来法に比べ大幅に画像ノイズを低減することが可能である。低電圧撮影の欠点としてノイズが増加することがあるが、iDoseを併用することでこれらの欠点を克服することが可能である。当院の検討では通常の6割の造影剤(360mgI/kg 30秒注入)で80kVp, iDoseを併用してdynamic CTを行った場合でも120kVpの通常のdynamic CTと同等の造影効果が確保されており、ノイズもほとんど目立たなかった。当院の検討ではiDoseにより40~50%程度の被ばく低減も可能であった。

CTのような低線量被ばくによる発癌の危険性については、現時点では確定していない。しかし、小児ではX線の影響が成人よりも大きいことは確かであり、平均予後が長いことから、CT検査の重要性も非常に高い。このような状況では画質を保ったまま、できるだけ被ばくを低減する努力が必要と思われる。低電圧撮影およびiDoseはほとんど画質を損なうことなく、被ばく線量を低下させることができる点で非常に有用な手法と思われる。



Fig.4 100kVpで撮影された小児症例
9歳, 男児, 30kg
オムニパーク300 60mL@3.0mL/sec
CTDI 6.7mGy



●文献

- 1) Igarashi T : Overview of ICRP publication 87 "managing patient dose in computed tomography". Nihon Hoshasen Gijutsu Gakkai Zasshi 2004 ; 60 : 1065-1071.
- 2) Berrington de Gonzalez A, Mahesh M, Kim KP, et al : Projected cancer risks from computed tomographic scans performed in the United States in 2007. Arch Intern Med 2009 ; 169 : 2071-2077.
- 3) Mettler FA Jr, Thomadsen BR, Bhargavan M, et al : Medical radiation exposure in the U.S. in 2006 : preliminary results. Health Phys 2008 ; 95 : 502-507.
- 4) Preston DL, Shimizu Y, Pierce DA, et al : Studies of mortality of atomic bomb survivors. Report 13 : Solid cancer and noncancer disease mortality : 1950-1997. Radiat Res 2003 ; 160 : 381-407.
- 5) Watanabe H, Kanematsu M, Miyoshi T, et al : Improvement of image quality of low radiation dose abdominal CT by increasing contrast enhancement. AJR Am J Roentgenol 2010 ; 195 : 986-992.
- 6) Nakayama Y, Awai K, Funama Y, et al : Lower tube voltage reduces contrast material and radiation doses on 16-MDCT aortography. AJR Am J Roentgenol 2006 ; 187 : W490-497.
- 7) Nakaura T, Awai K, Oda S, et al : Low-kilovoltage, high-tube-current MDCT of liver in thin adults : pilot study evaluating radiation dose, image quality, and display settings. AJR Am J Roentgenol 2011 ; 196 : 1332-1338.
- 8) Marin D, Nelson RC, Samei E, et al : Hypervascular liver tumors : low tube voltage, high tube current multidetector CT during late hepatic arterial phase for detection-initial clinical experience. Radiology 2009 ; 251 : 771-779.
- 9) Huda W, Scalzetti EM, Levin G : Technique factors and image quality as functions of patient weight at abdominal CT. Radiology 2000 ; 217 : 430-435.

症 例 報 告

視床下部過誤腫に脳奇形の合併を認めた稀な2例

稲村健介, 平野靖弘, 吉田理佳, 桑島成子, 楫 靖, 市川 剛¹⁾, 志村直人¹⁾獨協医科大学 放射線医学講座, 同 小児科¹⁾

Two rare cases of hypothalamic hamartomas associated with central nervous system malformations

Kensuke Inamura, Yasuhiro Hirano, Rika Yoshida, Shigeko Kuwashima

Yasushi Kaji, Go Ichikawa¹⁾, Naoto Shimura¹⁾Department of Radiology, Pediatrics¹⁾, Dokkyo Medical University

Abstract We describe two cases of hypothalamic hamartoma associated with central nervous system malformations.

A 6-year-old girl presented with a history of precocious puberty. Magnetic resonance imaging (MRI) of the brain revealed a well-defined, nonenhancing solid mass in the hypothalamus with a relatively large arachnoid cyst. Another 2-month-old infant had been suspected of having a hypothalamic mass and holoprocencephaly by fetal MRI. After birth, MRI of the brain revealed a well-defined, solid mass in the suprasellar cistern and the prepontine cistern with holoprocencephaly (alobar type).

These two cases revealed typical MRI findings of hypothalamic hamartoma although they are relatively huge, and being therefore, easy to diagnose. Besides, both cases showed central nervous system malformations. A review of the literature suggests that the presence of large hypothalamic hamartoma may disrupt the sequence of the brain development and lead to the formation of central nervous system malformations such as arachnoid cyst or holoprocencephaly.

Keywords Magnetic resonance imaging(MRI), Hypothalamic hamartoma, Arachnoid cyst, Holoprocencephaly

はじめに

視床下部過誤腫は、視床下部の灰白隆起から発生する稀な先天性の良性腫瘍であり、大きくなると脚間槽、鞍上槽、橋前槽に進展する。今回、我々は視床下部過誤腫にそれぞれくも膜嚢胞と全前脳胞症を合併した2例を経験したので文献的考察を加えて報告する。

症 例

症例1：6歳、女児

周産期および発達歴：特記すべき事項なし。

現病歴：3歳頃より、母親が乳房腫大に気づいていた。6歳時、近医にて乳房腫大を指摘され、思春期早発症精査目的で当院に紹介受診となった。

身体所見：身長115 cm (+1.3SD)、体重21.6 kg

原稿受付日：2011年7月4日、最終受付日：2011年8月30日

別刷請求先：〒321-1207 栃木県下都賀郡壬生町北小林880 獨協医科大学病院 放射線科

(1.2SD), 乳房腫大(Tanner分類 Ⅲ度)あり. 恥毛や腋毛は認めなかった.

検査所見: エストラジオール 40.2pg/ml (≤ 20.0), 黄体化ホルモン 0.28mIU/ml (0.02~0.18), 卵胞刺激ホルモン 4.0mIU/ml (1.0~4.2) 電解質, 生化学検査に異常なし.

MRI所見: 視床下部に2cm×3cm×3cm(左右×前後×頭尾)の境界明瞭な腫瘤を認めた. 腫瘤はT1強調像で灰白質と等信号, T2強調像で淡い高信号を呈し, 造影増強効果は認められなかった(Fig.1a, b, c). 下垂体に異常所見はなく, 視床下部過誤腫と診断した.

他には右の小脳橋角槽から四丘体槽, 迂回槽にかけて, 脳脊髄液と等信号を示す病変を認めた. 拡散強調像(b factor = 1,000sec/mm²)で脳脊髄液と等信号を呈し(Fig.2a), ADC(apparent diffusion coefficient)-mapは高信号(Fig.2b)であり, 造影増強効果はなく, くも膜嚢胞と診断した.

症例2: 0歳2か月, 女児

現病歴: 胎児超音波検査および胎児MRIにて, 視床下部腫瘤と全前脳胞症(alobar type)が指摘されていた.

在胎36週1日に帝王切開にて出生した. 出生直



Fig.1 MRI of case 1

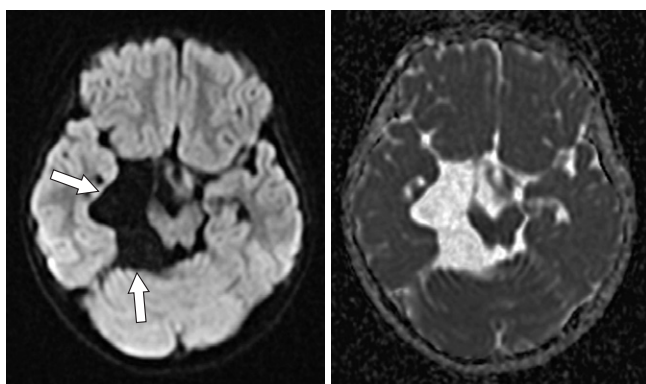
a | b | c

Noncontrast T1-weighted sagittal MRI (a), T2-weighted sagittal MRI (b), and contrast-enhanced T1-weighted sagittal MRI (c).

a: T1-weighted sagittal MR images reveal a well-defined, solid mass in the hypothalamus (arrow). The mass is isointense relative to cerebral gray matter.

b: The mass is slightly hyperintense on T2-weighted images.

c: The mass does not enhance after contrast medium administration. The pituitary is normal in size, shape, and position. Its tissue shows normal signal characteristics both before (a) and after (c) contrast medium administration.



a | b

Fig.2

MRI of case 1

Axial diffusion-weighted MRI (a), apparent diffusion coefficient-map (b)

a: The huge cyst on diffusion-weighted images appears isointense relative to CSF, extending into the cerebellopontine cistern, quadrigeminal cistern, and ambient cistern (arrows).

b: Apparent diffusion coefficient of the cyst is similar to CSF.

後より呼吸状態悪く、気管挿管が施行された。また、全身性の強直間代けいれんが認められた。染色体は正常であった。2か月に頭部MRIが施行された。

身体所見：単鼻孔、両眼間の狭小、外耳がやや筒状など全前脳胞症に特徴的な顔貌がみられた。鎖肛や合指症はなかった。

MRI所見：トルコ鞍上部から橋前槽にかけて4 cm

×3 cm×3 cm(左右×前後×頭尾)の境界明瞭な腫瘤を認めた。腫瘤はT1強調像、T2強調像で灰白質と等信号を呈し(Fig.3a, b)、視床下部過誤腫と診断した。

前頭葉皮質は左右連続し半球間裂は認められなかった。左右の基底核、視床の癒合がみられた。単脳室は背側のdorsal cystに連続しており全前脳胞症(alobar type)と診断した(Fig.4a, b, c)。

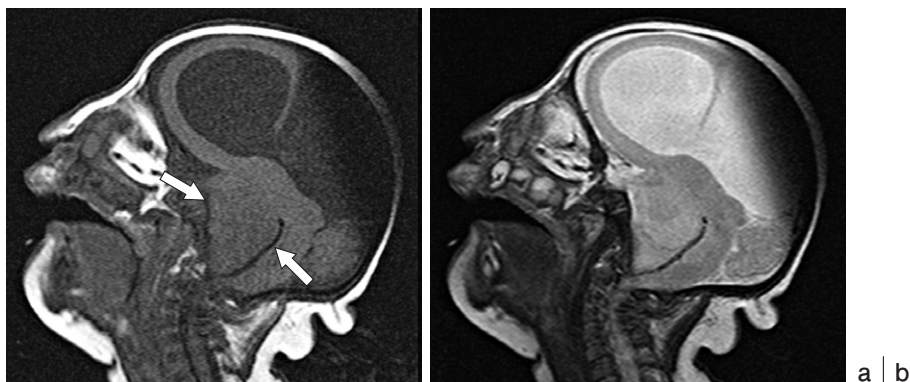


Fig.3 MRI of case 2

T1-weighted sagittal MRI (a), T2-weighted sagittal MRI (b)

a: T1-weighted sagittal MR images reveal a well-defined, solid mass in the suprasellar cistern and the prepontine cistern (arrows). The mass is isointense relative to cerebral gray matter on T1-weighted images.

b: The mass is iso- to slightly hyperintense on T2-weighted images.

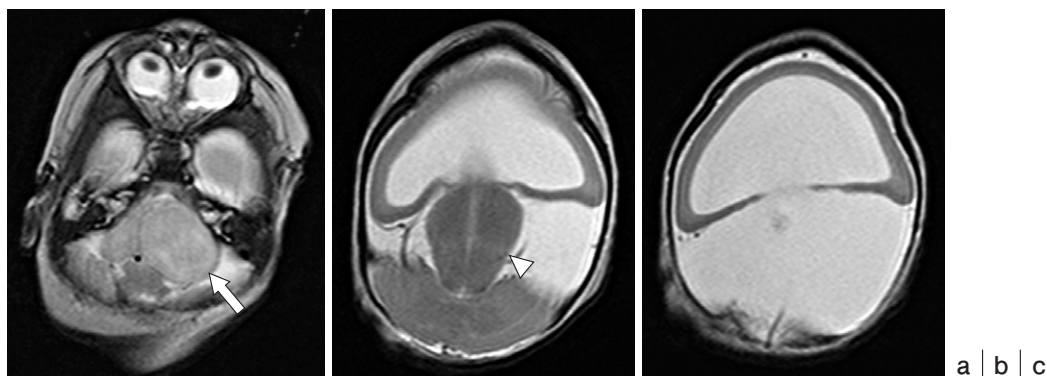


Fig.4 MRI of case2

T2-weighted axial MRI (a, b, c)

T2-weighted axial images demonstrate that the mass is slightly hyperintense relative to cerebral gray matter (arrow). The falx, interhemispheric fissure, and septum pellucidum are absent. Hypothelorism, thalami fused (arrowhead) can be seen. A large dorsal cyst occupies most of the posterior fossa and communicates with a single ventricle.

考 察

視床下部過誤腫は、視床下部の灰白隆起から発生する稀な先天性良性腫瘍であり、主な症状として、笑い発作を主体とするけいれん、思春期早発症、精神遅滞が知られている。視床下部過誤腫の典型的画像所見は、腫瘍が視床下部に位置し、MRI T1強調像では灰白質と等信号、T2強調像では等信号から淡い高信号を呈し、造影後に増強効果を認めない¹⁾。今回、報告した2例のMRIでは大きいながらも典型的な画像所見を呈しており、視床下部過誤腫の画像診断は容易であった。

1例目は視床下部過誤腫にくも膜嚢胞の合併を認めた。くも膜嚢胞は、くも膜下腔の形成不全により、くも膜を壁とし内部に脳脊髄液が貯留する嚢胞であり、原始髄膜が分化し始める胎生14週頃に発生するとされている。好発部位は、中頭蓋窩、シルビウス裂、大槽、四丘体槽、鞍上部、小脳橋角槽で、通常は無症状である。

視床下部過誤腫とくも膜嚢胞の合併は今までに6例報告されている^{2~6)}。診断された時期は胎児期から42歳までと様々で、臨床症状は6例中4例に思春期早発症が認めていた。性差はなかった。視床下部過誤腫の大きさについては3例で記載があり、最大は径2.5cm⁶⁾であった。今回の症例はこれより大きかった。また、くも膜嚢胞は長径3.5cm程度のもの⁶⁾から片側の中頭蓋窩を占拠する大きなもの³⁾まで含まれていた。我々の症例のくも膜嚢胞は、右の小脳橋角槽から四丘体槽、迂回槽まで認められる比較的大きなくも膜嚢胞であった。鑑別として、類表皮嚢胞が挙げられるが、拡散強調像で低信号、ADC-mapで高信号という所見から鑑別可能であった。巨大くも膜嚢胞の合併症として、嚢胞内出血や硬膜下血腫があるが、そのような合併所見はみられなかった。

2例目は、視床下部過誤腫に全前脳胞症の合併を認めた。全前脳胞症は胎生初期の5~6週における前脳の左右半球への分割と間脳・終脳への分化が障害されることによって生じるとされている。前脳の分裂の度合いにより分葉型(lobar type)、半分葉型(semilobar type)、無葉型(alobar type)に分けられるが、分類が難しい例も多い。本症例は、画像所見及び臨床症状から最も重症である無葉型

(alobar type)と診断した。原因は染色体異常(25~50%)、遺伝子異常(18~25%)が報告されているが不明も多い⁷⁾。本症例の染色体は正常であったが、遺伝子検査はされていない。

出生後は全前脳胞症の症状であるけいれん、水頭症、電解質異常、下垂体機能障害に対して対症療法がなされている。

視床下部過誤腫と全前脳胞症の合併については、過去に20例の報告がある⁸⁾。診断された時期については19例で記載があり、出生前を含む2歳以下が16例と多かった。性差はなかった。臨床症状はけいれんが5例、思春期早発症が4例、精神遅滞が5例であった。記載がある視床下部過誤腫の大きさの最大径は5.7cmで⁹⁾、その他は3cm以下であった。本症例の視床下部過誤腫は4cmであり比較的大きかったと言える。

視床下部過誤腫と脳奇形の合併について、Boothらは、視床下部過誤腫の存在によりくも膜下腔の形成が障害されてくも膜嚢胞が生じる説と、過誤腫にくも膜や髄膜の組織が含まれており、そのためくも膜嚢胞が生じる説を挙げている²⁾。また、Castoriらは、視床下部過誤腫と前全脳胞症の合併について、環境や遺伝的因子による多面的影響も否定できないとしながらも、視床下部過誤腫による直接的な胎生初期の脳への影響を示唆している⁸⁾。

今回の我々の2例の視床下部過誤腫はこれまでの報告例と比較すると比較的大きな腫瘍であった。視床下部過誤腫が胎生4週頃に発生し、2次的にその後の脳の発育過程に何らかの影響を与え、胎生5~6週頃に全前脳胞症、また胎生14週頃にくも膜嚢胞が生じた可能性も示唆され、このことは今までの仮説と一致する。

Pallister-Hall syndrome (PHS)¹⁰⁾は原因遺伝子が特定されており、多指症、皮膚性合指症、二分喉頭蓋、鎖肛門、腎奇形、心奇形を合併奇形として有する症候群である。今回報告した2例は、遺伝子検索は行われていないが、これらの奇形は2例とも認められなかった。その他視床下部過誤腫を合併する症候群として原因遺伝子が特定されているMcKusick-Kaufman syndrome(多指症、腔子宮留水症、心奇形)が知られているが¹¹⁾、臨床所見は合致しなかった。比較的大きな視床下部過誤腫と脳の奇形の合併については、原因遺伝子の

存在や新たな症候群の可能性もあり、遺伝子検査を含めた更なる今後の症例の蓄積、検討が必要である。

結 語

視床下部過誤腫に脳奇形を合併した稀な2例について画像所見を中心に報告した。自験例及び過去の報告から比較的大きな視床下部過誤腫については、発生の過程で他の脳奇形を合併する可能性が推測され、既に遺伝子が確立されているPHSとは異なる新しい疾患概念の存在が示唆された。

●文献

- 1) Barkovich AJ : Pediatric neuroimaging (4ed), Ed by Lisa McAllister. Philadelphia, Lippincott Williams & Wilkins, 2005, p584-588.
- 2) Booth TN, Timmons C, Shapiro K, et al : Pre- and postnatal MR Imaging of hypothalamic hamartomas associated with arachnoid cysts. *AJNR Am J Neuroradiol* 2004 ; 25 : 1283-1285.
- 3) Isaka T, Nakatani S, Yoshimine T, et al : Asymptomatic hypothalamic hamartoma associated with an arachnoid cyst. *Neurol Med Chir* 1996 ; 36 : 725-728.
- 4) Nishio S, Morioka T, Hamada Y, et al : Hypothalamic hamartoma associated with an arachnoid cyst. *J Clin Neurosci* 2001 ; 8 : 46-48.
- 5) Goda M, Tashima A, Isono M, et al : A case of hypothalamic hamartoma associated with arachnoid cyst. *Childs Nerv Syst* 1999 ; 15 : 490-492.
- 6) Mocco J, Lozier AP, Komotar RJ, et al : Hypothalamic hamartoma in association with a suprasellar arachnoid cyst : A case report. *Pediatric Neurosurgery* 2005 ; 41 : 105-108.
- 7) Johnson CY, Rasmussen SA : Non-genetic risk factors for holoprosencephaly. *Am J Med Genet Part C* 2010 ; 154C : 73-85.
- 8) Castori M, Douzgou S, Silvestri E, et al : Reassessment of holoprosencephaly-diencephalic hamartoblastoma (HDH) association. *Am J Med Genet Part A* 2007 ; 143A : 277-284.
- 9) Rossiter JP, Khalifa MM, Nag S : Diencephalic neuronal hamartoma associated with congenital obstructive hydrocephalus, anophthalmia, cleft lip and palate and severe mental retardation : A possible new syndrome. *Acta Neuropathol* 2000 ; 99 : 685-690.
- 10) Hall JG, Pallister PD, Clarren SK, et al : Congenital hypothalamic hamartoblastoma, hypopituitarism, imperforate anus, and postaxial polydactyly - a new syndrome? Part 1 : Clinical, causal, and pathogenetic considerations. *Am J Med Genet* 1980 ; 7 : 47-74.
- 11) Unsinn KM, Neu N, Krejci A, et al : Pallister-Hall syndrome and McKusick-Kaufmann syndrome : one entity? *J Med Genet* 1995 ; 32 : 125-128.