

## 頭部画像のABC

森 壱

東京大学大学院医学系研究科生体物理医学専攻 放射線医学講座 放射線診断学分野

### The rudiments ABC of pediatric neuroimaging

Harushi Mori

Department of Radiology, Graduate School and Faculty of Medicine, The University of Tokyo

**Abstract** The rudiments ABC of pediatric neuroimaging include aspect, brain and cranium. First, as to aspect, gyration, development of cerebrospinal fluid space and skull base structures are covered. Gyration varies a good deal among children. Ventricles are also highly individual. Primitive fetal ventricular configuration should not be incorrectly equated to colpocephaly. Benign enlargement of the subarachnoid space in infancy is an important point to note. Pituitary gland decreases in height during infancy and increases at puberty and perimenopause. Cerebellar tonsils herniate downward physiologically. Second, neuroblast migration, myelination and transient hyperintensity on T1-weighted images are mentioned. Germinal matrix layer migrates until the 34<sup>th</sup> gestational week and can appear hyperdense on non-contrast computed tomography. You can estimate myelination age based on the signal intensity of the splenium and genu of the corpus callosum on T1 and T2 weighted imaging. Adenohypophysis and subthalamic nuclei show hyperintensity on T1-weighted images at birth and fade gradually. Finally, development of cranial sutures, bone marrow and paranasal sinuses is discussed. We should be aware of how important it is to be familiar with age-related changes on pediatric neuroimaging to avoid oversights and misdiagnosis. You may be promised complete acquirement of myelination estimates after reading this article.

**Keywords** Gyration, Myelination, Pneumatization

### はじめに

小児頭部画像の基本について、ABCにちなんでAspect(脳表)、Brain(脳実質)およびCranium(頭蓋)の順に概説する。

小児期の脳や頭蓋はダイナミックに変化しており、年齢に応じた正常の形態を把握する必要がある。その際には、早産児や胎児では修正週齡、修

正月齡(出生を40週の満期産として補正)を考慮しなければならない。いつ、どのように見えるのか熟知していないと、見落としや読み過ぎの温床となりうる。ひいては治療開始遅延や、逆に過剰検査・治療に繋がる。

本稿の目的は、頭部画像の読影に際し、念頭に置くべき加齡性変化を知ることにある。特に、髄鞘化の簡易推定法について習得してほしい。

## 脳 表

### 1. 脳溝・脳回形成

脳溝, 脳回の形成<sup>1~5)</sup>には個人差が大きい。特に, 双胎では通常より2~3週遅延することが多

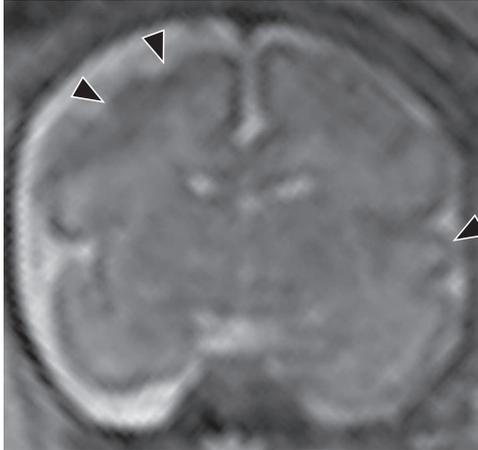


Fig.1 Normal gyration

30 weeks gestational age, single-shot fast-spin-echo coronal image. The frontal lobes are divided into three gyri by two shallow indentations (arrowheads). In the left temporal lobe, the superior temporal gyrus has become evident.

い。胎生早期には脳表は未発達であり, 妊娠16週ではシルビウス裂以外の脳溝はみられない。20週頃から中心溝, 上側頭溝, 頭頂後頭溝などの1次脳溝が出現する。2次脳溝の形成は28週頃から始まる。3次脳溝が出現する32週頃から島を覆う弁蓋部が目立ってくる。出生時に脳溝パターンは完成しているが, 脳溝の深さは浅い。

MRでの所見は以下の通りである。妊娠22週では, 左右の側脳室のみ認められる。妊娠26週では, シルビウス裂によって前頭葉および側頭葉が分離する。妊娠29週では, 下前頭溝と上側頭溝を浅い陥凹として認める。妊娠30週では, 前頭葉が2つの浅い陥凹によって3つに分けられる (Fig.1)。側頭葉では上側頭回が明瞭になる。妊娠32週では, 前頭葉が上下前頭溝で上, 中, および下前頭回に明瞭に区分される。妊娠34週では, 側頭葉が上下側頭溝で上, 中, および下側頭回に明瞭に区分される。妊娠36週では, 前頭側頭葉の2次脳溝が明瞭になる。妊娠38週では, 脳溝, 脳回が脳表全体を覆う。大脳白質は脳回へ深く折り込まれる。シルビウス裂はほぼ閉鎖する。

脳梁<sup>6)</sup>は妊娠10~22週にかけて脳梁体部前端部から前後へ形成され, その後は大脳皮質の発達に伴って肥厚する。新生児期 (Fig.2a) では脳梁は全体的に薄く, 膝部や膨大部の膨らみはない。また

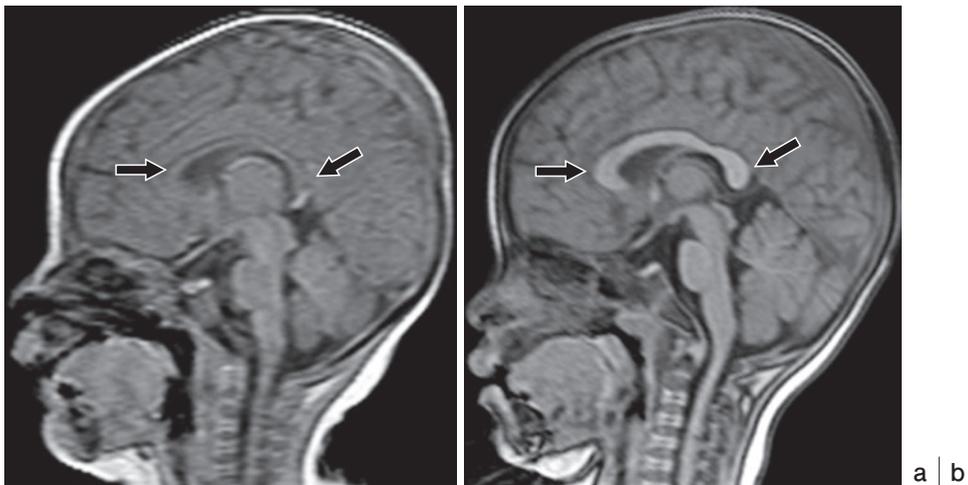


Fig.2 Corpus callosum development

a : Neonate, T1-weighted sagittal image. The corpus callosum is still thin.  
b : 1.5 year old (the same child), T1-weighted sagittal image. The corpus callosum has thickened.

T1強調画像で灰白質に比べて低信号である。生後1~2か月で中心前・後回の髄鞘化と並行して膝部の発達が始まる。次いで、3~4か月目に視覚野や視覚連合野の髄鞘化と共に膨大部の発達が見られ、7か月目に膝部とほぼ同じ厚さになる。9~10か月には成人同様の形態になる (Fig.2b)。髄鞘化は4か月ごろ脳梁膨大部から始まる。

## 2. 脳脊髄液腔

頭蓋の発達と脳実質の大きさのバランスには個人差が大きい<sup>1~5)</sup>。妊娠30週までは生理的な側脳室後角優位の拡大 (primitive fetal ventricular configuration, PFVC) を呈しており、滑脳症様に見える。第4脳室は妊娠37週頃にMRで同定できるようになる。新生児期では脳腫脹かと思紛うほど脳室や脳槽などの脳脊髄液腔は狭いことがある (Fig.3a)。

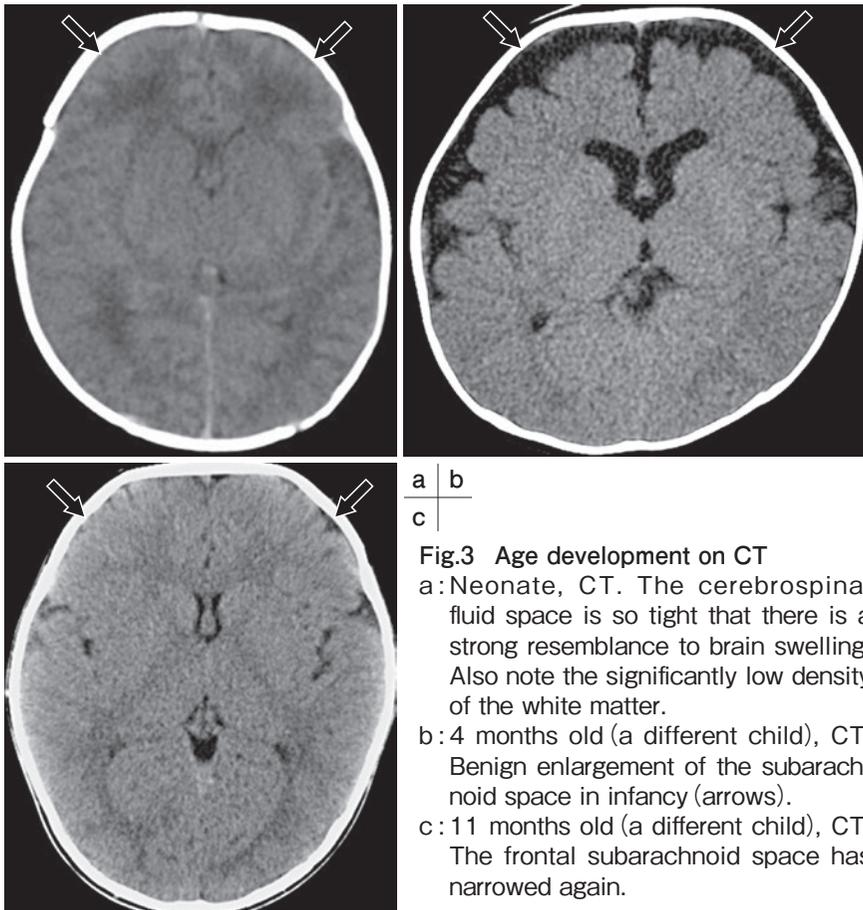
乳児期では、まず頭蓋が先行して大きくなるため前頭部の脳脊髄液腔が拡大しているように見える (benign enlargement of the subarachnoid space in infancy, Fig.3b)。その後、脳実質の発達が追いつき、1~2歳では再び脳脊髄液腔が狭小化する (Fig.3c)。

正中過剰腔のベルガ腔は胎生40週頃、透明中隔腔は生後2~3か月で閉鎖する。高齢者では血管周囲腔 (Virchow-Robin腔) が基底核領域、皮質下白質や半卵円中心で目立つようになる。両側対称性に基底核下部で認められることが多いが、非対称性で2cm大になるものもある。脳脊髄液と等信号である点が陳旧性小梗塞との鑑別になる。

## 3. 頭蓋底部

### 1) 下垂体

新生児期には下垂体は上部辺縁が円状で、出産



後8か月まで大きさが減少し<sup>7)</sup>、下垂体上縁は平坦化する (Fig.4)。そして、小児期に各方向に拡大し上下2～6mmの大きさになる。さらに、思春期には再び増大して下垂体上縁が上に凸となり、高さが女児では10mm、男児では7～8mmに達する。女性では閉経期にも腫大するが、高齢期では性差を認めない。

## 2) 小脳扁桃

小脳扁桃は生理的に下垂しているため、10歳頃までは大後頭孔より6mmまでは正常範囲内であり、30歳までは5mm、それ以降は4mmが目安となる。従って、3mm以内のものは臨床的に問題にならない<sup>8)</sup>。

正常でも心拍による小脳扁桃の変位は1mm以下とわずかである。これがキアリ1型奇形 (特に空洞症のある症例) では、心拍による小脳扁桃の変位が大きくなる。これにより脊髄内外の圧較差が生まれ、空洞症の原因となっているのかも知れない。

## 脳実質

### 1. 神経芽細胞遊走

妊娠9週頃に側脳室や第三脳室周囲に胚芽細胞層 (germinal matrix layer) が出現する。T1強調像では13週頃から胚芽細胞層が高信号域として認め

られる。その後増大するが、妊娠28～30週にかけて神経芽細胞 (神経外胚葉細胞) の皮質への遊走に従って菲薄化する。遊走は10週頃から始まり、29週までにはほぼ完了している。胚芽細胞層は34週までに痕跡的となる<sup>1-5)</sup>。

妊娠34週までの早産児でCTが撮影された場合は、脳室周囲の胚芽細胞層は周囲の脳実質に比して高吸収値域として描出される。特に、尾状核頭部付近で目立ち、ganglionic eminenceと呼ばれる。また、遊走が完了していないため皮質はまだ薄い。

MRのT1強調画像では、妊娠23週から28週まで大脳半球は5層構造がある (母体外の撮像では15週から描出される)。最内層の高信号域は胚芽細胞層、この外側に深部中間層の低信号帯を挟んで遊走細胞層の高信号域があり、さらに外側で浅部中間層の低信号帯、皮質の高信号域となる。T2強調像では胚芽細胞層は低信号域として認められる (Fig.5)。これらの層構造は28週以降に不明瞭となる。

### 2. 髄鞘化

#### 1) 髄鞘化

脳の発達に伴う髄鞘化は2歳まで大きく変化し、



Fig.4 Normal pituitary gland  
Neonate, T1-weighted sagittal image. The adenohypophysis is convex upward and shows hyperintensity.

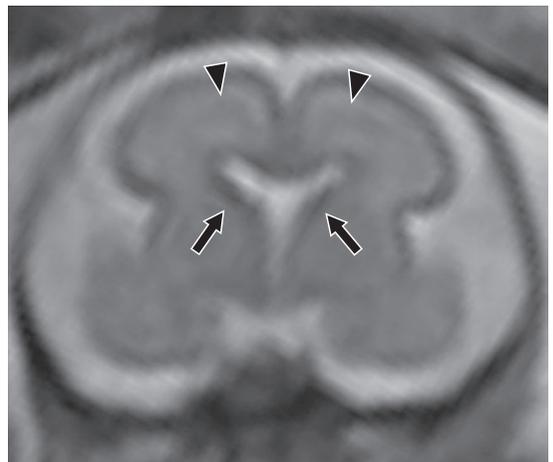


Fig.5 Germinal matrix layer  
25 weeks gestational age, single-shot fast-spin-echo coronal image. Germinal matrix layer (arrows) and migratory cell layer (arrowheads).

その後12歳までゆっくり変化する<sup>1-5)</sup>。髄鞘化の遅延は脳奇形、代謝疾患や感染症などのさまざまな疾患で認められる。なお、胎児期や新生児期の脳は水分含量が多く、T1値およびT2値が成人より延長している。従って、MRのT2強調画像ではTRおよびTEをとともに長めに設定する。

髄鞘化は一般的な原則として、系統発生学的に古い領域から新しい部分へ、尾側から頭側へ、背側から腹側へと進む。従って脳幹から小脳へ、大脳基底核から大脳半球白質へ、また、大脳半球白質内では後頭葉→前頭葉→側頭葉へと進む。

MRでは、脳実質内の髄鞘化と水分含量の度合いを観察可能である。髄鞘化はT1強調画像ではコレステロールや糖脂質の増加を反映して高信号化、T2強調画像では髄鞘の成熟に伴う2次的な水分含量低下が低信号として認められる。T1強調画像での変化がT2強調画像での変化に数か月先行する。髄鞘化の評価は、1歳まではT1強調画像、1～2歳はT1、T2強調画像両方、2歳以降はT2強調画像を基本とする (Table 1)。

ターミナル・ゾーンは側脳室三角部背側上方の白質の高信号域で髄鞘化を示すT2強調画像での低信号化が最後に起きる部分をいう。この所見はプロトン密度強調画像では不明瞭である。ときに成人まで残ることがあり、脳室周囲白質軟化巣などの病変との鑑別が問題になる。ターミナル・ゾーンでは側脳室との間に髄鞘化した白質の存在 (T2強調画像で低信号)する点が鑑別となる。一般的にターミナル・ゾーンといえは上記の傍三角部領域を指すことが多い。しかし、皮質直下領域こそが真のターミナル・ゾーンであると考えられる向きもある。

拡散強調画像では白質線維の成熟度が観察可能になる。新生児ではisotropicな拡散が見られるが、成長に伴い白質線維の方向や密度に応じた拡散がみられる。FA (fractional anisotropy) 画像ではT1強調画像やT2強調画像で髄鞘化が分かりにくい場合でも白質線維の存在が捉えやすい。また、新生児でもtractographyが描ける。

MRS (MR spectroscopy) では、脂肪酸の合成に関与するN-アセチルアスパラギン酸 (NAA) が髄鞘化に伴って増加する。つまり、髄鞘化の未熟な部位ではNAA/コリン化合物 (Cho) 比が低く、成長に伴って後述する各部での髄鞘化のスパート時

Table 1 Normal milestones of myelination

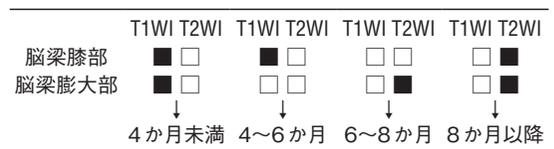
部 位	年 齢	
	T1 強調画像	T2 強調画像
中 小 脳 脚	新生児	新生児
小脳半球白質	新生児～4か月	3～5か月
内包後脚前部	新生児	4～7か月
内包後脚後部	新生児	新生児～2か月
内 包 前 脚	2～3か月	7～11か月
脳 梁 膝 部	4～6か月	5～8か月
脳 梁 膨 大部	3～4か月	4～6か月
後頭葉白質中心部	2～5か月	9～14か月
後頭葉白質辺縁部	4～7か月	11～14か月
前頭葉白質中心部	3～6か月	11～16か月
前頭葉白質辺縁部	7～11か月	14～18か月
半卵円中心	2～4か月	7～11か月

期に一致してNAA/Cho比が急激に増加する。また、髄鞘化に伴うChoのミエリン化消費による減少、もしくは脳エネルギー代謝の成熟に伴うクレアチニン・クレアチニンリン酸 (Cr) の増加を反映してCho/Cr比が減少する。

2) 髄鞘化の簡易推定法

髄鞘化の加齢変化は細かく、専門家以外は取っ付きにくい。そこで、筆者は髄鞘化の簡易推定法を考案した。要は、あれこれ憶えられないので、あきらめて無理をせず脳梁に関心を絞るのである。しかも、この簡易推定法では使用する画像はT1強調画像およびT2強調画像それぞれ1断面、合計2枚だけ済む。難点は脳梁欠損がある場合には適応できないことであろうか。

前交連-後交連線 (AC-PC line) に水平な軸位断を撮像すると基底核レベルやや頭側で脳梁膝部と膨大部が同一平面内に描出される。この断面において、以下のような白黒パターンを見ればおおよその推定ができる (Fig.6)。すなわち、ポイントは①修正4か月での脳梁膨大部のT1強調画像高信号化、②修正6か月での脳梁膨大部のT2強調画像低信号化、および③修正8か月での脳梁膝部のT2強調画像低信号化である。



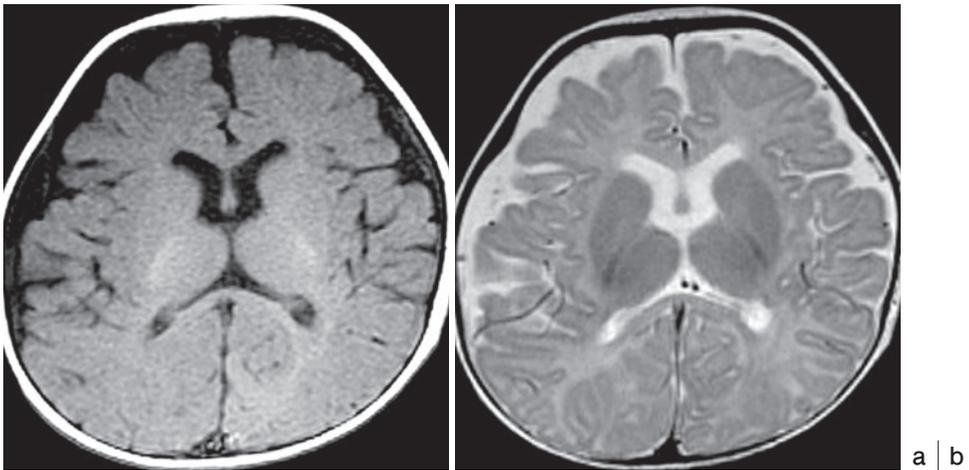


Fig.6 Myelination estimate

- a: T1-weighted image. The genu of the corpus callosum shows isointensity ("black") to cortex, whereas the splenium shows hyperintensity ("white").
- b: T2-weighted image. Both the genu and splenium of the corpus callosum show hyperintensity ("white"). These findings allow estimation that this child is 4-6 months old.

### 3) CTでの吸収値の変化

CTでは髄鞘化の判定はできない。しかし、CTでも乳児期に脳実質の吸収値がダイナミックに変化する。まず、満期産の新生児では白質がびまん性に低吸収値を示している (Fig.3a)。その後、約2か月の経過で白質の吸収値が上昇し、安定化する (Fig.3b)。これは髄鞘化を見ているのではなく、水分含有量の変化を反映している。

### 3. T1強調像高信号域

#### 1) 下垂体

新生児期には下垂体は周囲の脳実質と比較して下垂体全体がT1強調像で高信号を示す (Fig.4)。前葉は生後約2か月までに次第に等信号化し、後葉のみが高信号を残す<sup>7)</sup>。胎盤エストロゲンの影響が減ることによって、下垂体プロラクチン細胞が減少するためと考えられている。したがって、この変化は修正週数では決まらず、出産後日数に依存する。

#### 2) 視床下核

視床下核も新生児期にT1強調像で高信号を示し (Fig.7)、次第に等信号化する<sup>9)</sup>。この変化も修

正週数によらず、出産後日数によって変化する。ただし、なぜ一過性に高信号となるのか原因は不明である。

## 頭 蓋

### 1. 頭蓋縫合

頭蓋縫合は生後数か月で線維性に結合してくる。特に、小泉門は生後6か月、大泉門は生後18～24か月に閉鎖する (Fig.8)。その後、壮年以降に骨性癒合が起きる。

### 2. 骨髄

頭蓋冠の間や斜台の骨髄の信号は新生児期には低信号を示す (Fig.2,4)。2歳までには前頭骨の鼻突起や鶏冠の信号は高信号になる。3歳までに斜台には斑状の高信号部分が出現する (Fig.9)。その後徐々に高信号の部分が増大し、10代では骨髄全体が高信号になる。乳児や新生児期の骨髄は造骨骨髄の富血管性を反映して多様な造影効果を示す。

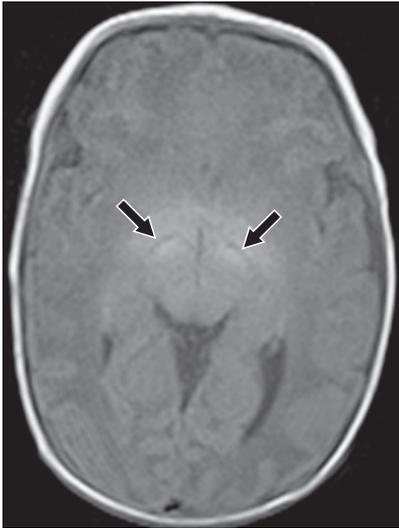
生徒や学生の若年女性でT1強調像における骨髄信号が低下している場合は、造骨器疾患や骨転移のほかに、神経性食思不振症を考慮する必要がある。

ある。特に眼窩脂肪の高信号のみを残した特徴的な信号パターンを示す(Fig.10)。

### 3. 副鼻腔

副鼻腔の中では上顎洞が最初に発達する<sup>5)</sup>。1年に左右に2mm, 前後に3mmの割合で大きくなる。9歳までに硬口蓋に達する。篩骨洞は前方から発

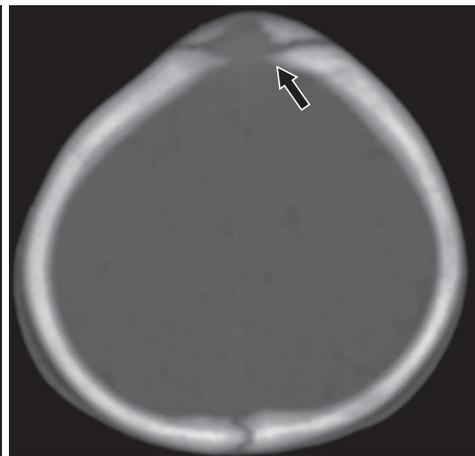
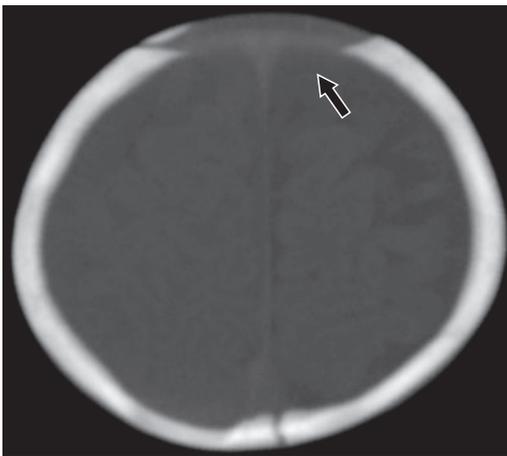
達してくる。6歳までは篩骨洞の後方に含気が無くても正常と考えられる。蝶形骨洞は生後まもなくは非常に小さな空洞であり、早ければ2歳時に高分解能CTで認識可能である。前頭洞は最後に発達する。2歳くらいから最初の含気が見られはじめ、4歳で鼻根点に達し、8歳で眼窩上壁、10歳で前頭骨に達する。成長は思春期までみられる



**Fig.7 Subthalamic nucleus**  
14-day-old neonate, T1-weighted image. The subthalamic nuclei show hyperintensity.

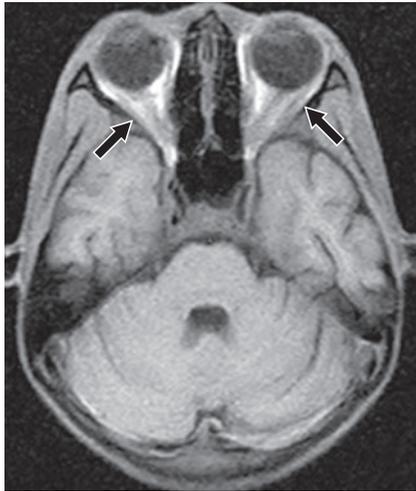


**Fig.9 Bone marrow development**  
2 years old, T1-weighted sagittal image. Heterogeneously hyperintensity is seen in both the clivus and crista galli.

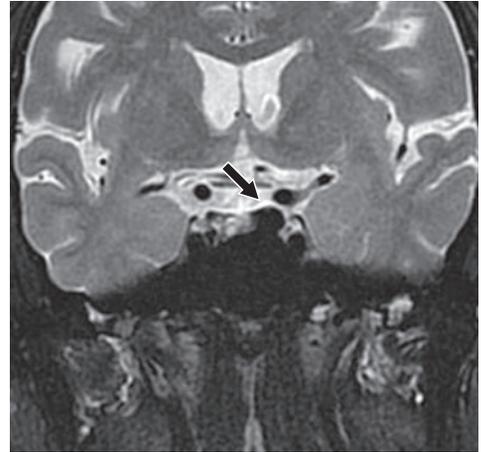


**Fig.8 Anterior fontanelle closure**  
a: 6 months old, CT. The anterior fontanelle is still open.  
b: 18 months old, CT. The anterior fontanelle has almost closed.

a | b



**Fig.10 Anorexia nervosa**  
12-year-old female, T1-weighted image. Bone marrow and subcutaneous tissue lack hyperintensity. The orbital fat is barely visible (arrows).



**Fig.11 Pneumatization mimicking an aneurysm**  
60-year-old male, T2-weighted coronal image. The asymmetric pneumatization of the left posterior clinoid process mimics an aneurysm (arrow).

が、非常に個人差がある。

ときに、蝶形骨洞の発達の後床突起にまで及ぶことがあり、これを知らないとT2強調像での円形無信号領域を動脈瘤と誤診する可能性もある(Fig.11)。

### おわりに

いろいろ述べたが、最低限の知識として

- ①乳児期に、前頭部クモ膜下腔は生理的に拡大する。
  - ②髄鞘化の簡易推定法では、脳梁膨大部および膝部に注目する。
  - ③副鼻腔は加齢に従って発達する。
- ということは押さえておいて欲しい。

### ●文献

- 1) Girard N, Raybaud C, Poncet M : In vivo MR study of brain maturation in normal fetuses. *AJNR Am J Neuroradiol* 1995 ; 16 : 407-413.
- 2) Hansen PE, Ballesteros MC, Soila K, et al : MR imaging of the developing human brain. Part 1. Prenatal development. *Radiographics* 1993 ; 13 : 21-36.
- 3) Ballesteros MC, Hansen PE, Soila K : MR imaging of the developing human brain. Part 2. Postnatal development. *Radiographics* 1993 ; 13 : 611-622.
- 4) Barkovich AJ : Normal development of the neonatal and infant brain, skull and spine. In *Pediatric Neuroimaging*, 3rd ed. Philadelphia, Lippincott Williams and Wilkins, 2000, p13-69.
- 5) Randy JJ : Chapter 1 Embryology. In *Atlas of neuroradiologic embryology, anatomy, and variants*. Philadelphia, Lippincott Williams and Wilkins, 2000, p2-60.
- 6) Barkovich AJ, Kjos BO : Normal postnatal development of the corpus callosum as demonstrated by MR imaging. *AJNR Am J Neuroradiol* 1988 ; 9 : 487-491.
- 7) Kitamura E, Miki Y, Kawai M, et al : T1 signal intensity and height of the anterior pituitary in neonates : correlation with postnatal time. *AJNR Am J Neuroradiol* 2008 ; 29 : 1257-1260.
- 8) Mikulis DJ, Diaz O, Eggin TK, et al : Variance of the position of the cerebellar tonsils with age : preliminary report. *Radiology* 1992 ; 183 : 725-728.
- 9) Taoka T, Aida N, Ochi T, et al : Transient hyperintensity in the subthalamic nucleus and globus pallidus of newborns on T1-weighted images. *AJNR Am J Neuroradiol* 2011 ; 32 : 1130-1137.