

特集 小児画像診断の正常変異, 偽病変, 境界病変, アーチファクト

小児の骨軟部系の特徴

細川崇洋, 小熊栄二, 白田 剛, 佐藤裕美子, 田波 穰

埼玉県立小児医療センター 放射線科

Pediatric skeletal radiology ; Normal variation, growth, and development

Takahiro Hosokawa, Eiji Oguma, Go Shirota,
Yumiko Sato, Yutaka Tanami

Department of Radiology, Saitama Children's Medical Center

Abstract

Mutation in the growth process is seen variously, and anatomic variations may stimulate disease. Experience and knowledge are often the best resources for successfully identifying normal variants. We show some normal variants and mention the differential diagnosis in this chapter. But normal variants vary greatly and all variations cannot be included. Some references, such as "Borderlands of Normal and Early Pathologic Findings in Skeletal Radiography" and "An Atlas of Normal Roentgen Variants", are useful for identifying normal variants. In this section, for example, spinal malformations such as hemi-vertebra and butterfly vertebra, rib anomalies such as synostosis, and those of the extremities such as bow-leg, focal fibrocartilagenous dysplasia, focal periphyseal edema, curly toe and brachymesophalangy of the little finger are included. And findings of Magnetic Resonance Images about bone marrow conversion at the femur, clivus and vertebral body are shown.

Keywords : Developmental anomaly, Physiologic, Normal variants

はじめに

ヒトの成長とは、出生時平均50cmの身長が成人男性であれば170cmの身長に至るまでの過程である。成長の過程における変異は多様にみられ、臨床的な重要性もさまざまである。椎体、鎖骨、肋骨などの骨格筋は、本来の目的とされていない検査、たとえば肺炎の検索目的の胸部単純X線写真でも撮影範囲に含まれており、偶然見られる正常変異を臨床医から指摘、質問されることがある。本稿では、部位ごとによく見られる成長の過程における変化や変異について、

鑑別となる病変なども含めて提示していく。頭側より椎体、鎖骨、肋骨、胸骨、骨盤、四肢、骨髄の順番で述べる。

椎 体

椎体の発生は、脊索と神経管が形成されるにつれ、この外側にある胚内中胚葉が肥厚して沿軸中胚葉と呼ばれる2つの縦走細胞柱が形成されることから始まる。胎生3週の終わりに分節化し、体節となる。この腹内側部は椎板

Sclerotomeといわれ、椎体と肋骨を形成する。椎板は頭側部が疎に、尾側部は密に集まった細胞集団であり、この密に集まった細胞集団のあるものが頭側に移動し、椎間円板Intervertebral diskを形成する。残りの密な細胞集団と疎の細胞集団が癒合して椎体の原器である間葉系椎心Centrumを形成する。つまり、各間葉系の椎心は隣接する2つの椎板から発生する。胎生6週に軟骨化中心が出現し、7週頃に軟骨性椎骨の一次骨化中心Primary ossification centerができる。一次骨化中心は、椎体の前後に2つあるが、癒合して1つとなり、また、神経弓の各半分に1つずつの全部で3つの一次骨化中心が胎生末期に完成する。その後、出生時には各椎骨は3つの骨部が軟骨で連結した形となっている。椎弓の癒合は腰部領域から始まり頭側に向かって進行する。通常3から5歳で癒合する。椎弓と椎心は3から6歳の間に癒合する。思春期後に5か所の二次骨化中心が出現する。棘突起先端、各横突起先端に1か所、骨端輪として椎体上縁と下縁に1か所の計5か所である。これらの成長の過程で様々な画像所見が見られ、正常変異と疾患の鑑別が必要となる¹⁻³⁾。

椎体の形態異常として隣接する2個の椎体が非対称に癒合する例、椎体の半分が消失する例などが見られ、これらは結果として側弯を招くことがある。

1) 椎体形態異常

椎体の形態異常には、以下のものがあげられる。

①半椎体Hemivertebra

椎体片側の骨化中心の発達不全による奇形であり、椎体の左右のいずれかが欠損している病態。骨化正常側では肋骨は正常に発達し、患側では肋骨の発生は見られない。側弯症の原因となり、また、ほかの椎体奇形を合併することが多い(Fig.1)。椎体前節が欠損するのはまれである。

側弯症^{4,5)}は、特発性と二次性に分けられる。特発性が80%を占める。生直後から3歳に発症するものはInfantile formと呼ばれ、男児に多く、70%は胸椎カーブが左凸となる。4から9歳に発症するものはJuvenile formと呼ばれ、胸椎カーブが右凸となる。10歳以上に発症するもの



Fig.1 10歳男児 椎体単純X線正面像
Th12椎体左半側が欠損し、同側の肋骨が欠如している。右半側はTh11と癒合している。

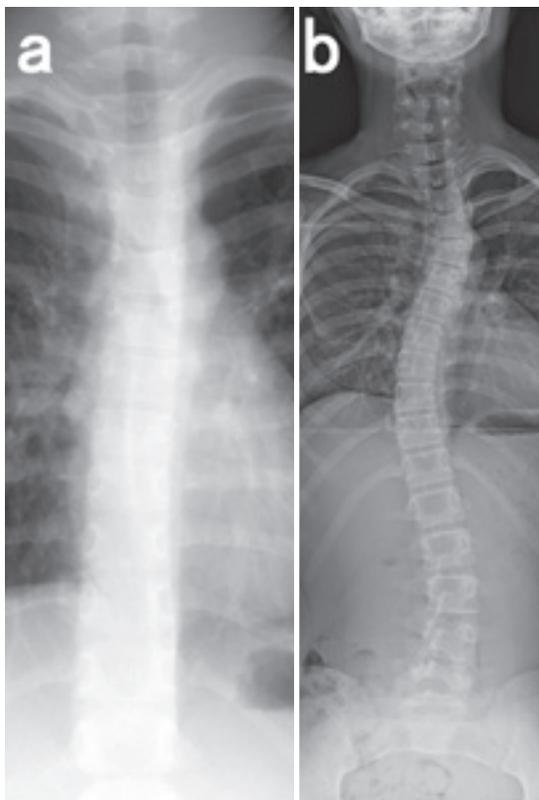


Fig.2 12歳女児
a: 7歳時胸部単純X線写真,
b: 12歳時椎体単純X線正面像
5年前の健診の単純胸部X線写真ではわずかな側弯が見られるのみである。5年の間に進行しており、まだ腸骨翼の骨化核は見られていないため、進行する可能性がある。

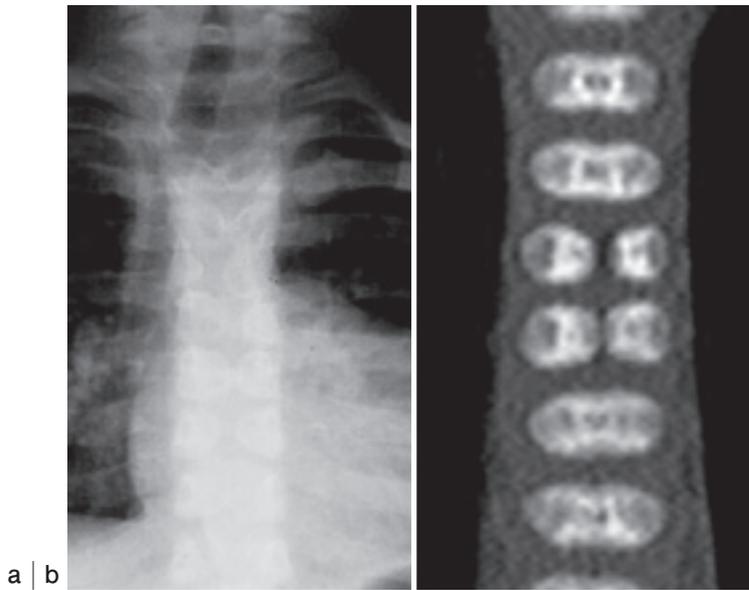


Fig.3

a: 胸部単純X線写真正面像

b: CT再構成画像

第4から7胸椎に蝶形椎体を認める。CT再構成冠状断再構成画像では第6, 7胸椎の蝶形椎体が見られる。

は adrelescent form と呼ばれ、胸椎カーブが右凸となる。前者2つはまれとされている。Cobb角が20度以下のものは発生に男女差はないが、30度以上の重症例は男女比が1:5から7と女性に多いとされている。思春期完了前は進行の危険があり (Fig.2), 骨成熟後の進行は少ない。骨成熟の程度は、議論の余地はあるが、Risser分類が用いられている。椎体自体の骨成熟を直接評価することは難しいため、腸骨稜辺縁の骨化の程度で判断する。癒合が終了すると椎体の成長が完了したと判断する。Risser分類は、腸骨稜の骨化核の出現の範囲と程度を Stage 0 骨化が全く見られない, I 外側の0から25%に骨化が見られる, II 25から50%, III 50から75%, IV 75から100%, V 骨化核は完全に癒合している状態に分けられる。二次性のものは、前述した椎体形態異常に伴うもの、チアノーゼを伴う心疾患や大動脈縮窄症などに合併するものがある。その際は左凸のことが多い。そのほか、様々な基礎疾患で生じ、神経筋疾患、二分脊椎、Marfan syndrome, Neurofibromatosis type I, Congenital torticollis などの疾患が知られている。Infantile form で側弯の程度が強いものや、右凸の胸椎カーブなど非典型的な側弯を見た場合は、可能な時期であれば脊髄超音波検査、もしくはMRIでの精査が望まれる。



Fig.4 椎体側面単純X線写真

8歳女児、椎体上縁に二次骨化中心を認める。

②蝶形椎体 Butterfly vertebra

脊索組織の遺残によって椎体正中で癒合不全を来す奇形である (Fig.3)。ほかの椎体奇形、尿路、消化管奇形を合併することがある。アラジール症候群でも知られている所見である。

2) 二次骨化中心

椎体の隅角分離として、椎体上前方の二次骨化中心が三角形の骨として見られる。骨折と誤ってはならない (Fig.4)。

鎖 骨

鎖骨はほかの肋骨の骨化と異なり、膜性骨化で形成される。様々な筋肉、靭帯が付着しており、その部位は骨透亮像を伴うことがあり骨折と誤って判断される。また、腱付着部に骨性の突出を来し、腫瘤を主訴に来院することもある (Fig.5)。



Fig.5 右鎖骨単純X線写真真正面像
右鎖骨正中に骨性の突出を認め、鳥口鎖骨靭帯付着部に位置する。

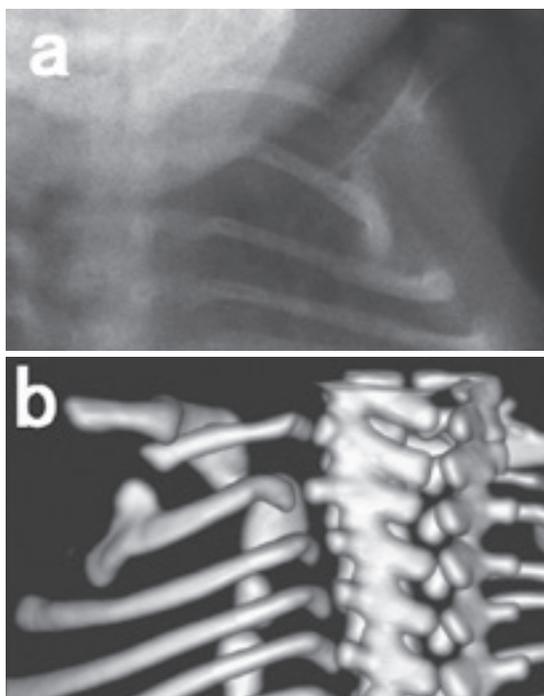


Fig.6 a：胸部単純X線写真真正面像
b：CT再構成画像
0歳男児、左第1, 2肋骨に癒合が疑われる、まだ骨性に癒合は見られていない。

肋 骨

肋骨は胸椎の肋骨突起から発生する。胎生8から9週に骨化核が生じ、腹側に延長していく。第1から7肋骨は固有の肋軟骨により胸骨に付着している。第8肋骨以下は、一つの肋骨の軟骨あるいは複数肋骨が一つの軟骨を介して胸骨に付着している。第11, 12肋骨は浮遊肋骨であり胸骨に付着していない。肋骨の先天性異常は0.15から3.4%と報告されているが、数の増加、欠損や椎体の異常に関連したものが多い^{2,3,6)}。

1) 肋骨の形態異常、癒合

もっとも多い癒合Synostosesは、第1, 2肋骨の間に生じ、臨床的な重要性はない⁶⁾ (Fig.6)。

2) Intra thoracic rib

まれな奇形であるが、胸郭内を斜め下方に、より頭側の椎体から発生した肋骨が走行するものである (Fig.7)。

胸 骨

胸骨板と言われる1対の間葉組織性垂直帯が体壁の腹外側に発生する。それが内方に移動するにつれ、軟骨化が起こり、正中面で頭側から尾側に向かって癒合し、胸骨柄、胸骨体文節、および剣状突起となる。胸骨の骨化中心は出生

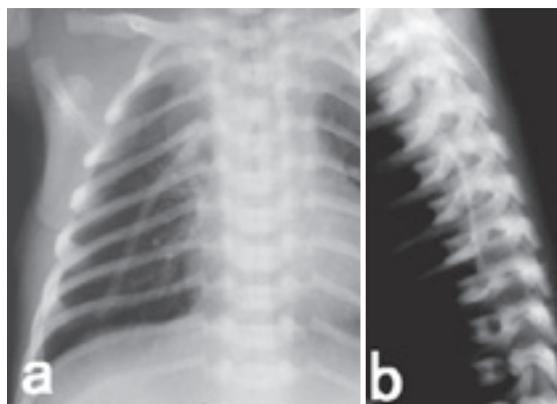


Fig.7 a：胸部単純X線写真真正面像
b：胸部単純X線写真側面像
0歳男児 右胸郭内に胸郭内肋骨が見られる。側面像では背側を走行しているのがわかる。

後に頭側から尾側にむかって出現する。剣状突起は小児期に出現する^{2,3,6)}。

1) 斜位撮影による偽病変

胸骨骨化核は正中胸郭前縁に位置している。そのため、斜位撮像では骨化核が肺内病変のように映りこむ。胸部単純X線写真を読影する際は正面性を確認する必要がある。

2) 骨化核の異常

胸骨柄、体部、剣状突起は小児期には分かれて観察される。胸骨柄と体部頭側の骨癒合は小児期早期に見られ、それより尾側は、小児期後半や思春期、成人してから癒合する。胸骨柄と体部の早期癒合は先天性心疾患患者で見られることがある。胸骨体部の骨癒合も、先天性心疾患や鳩胸Pectus carinatumで見られる^{2,3,6)}。また、胸骨柄骨化核の上下の分離はDown症で通常より4倍多くみられる⁶⁾ (Fig.8)。

骨 盤

1) 大腿骨頭の骨化の変化

大腿骨頭の骨化核は生後4か月で見られるようになる。半球体の軟骨を埋めるように大きくなる¹⁾。骨化核の多様性の正常変異としてMeyer dysplasiaが知られている。Meyer dysplasiaは小児の大腿骨近位骨端の骨化核の断片化と遅延であり、2から3歳に見られ、通常症状は伴わない。鑑別に甲状腺機能低下症Hypothyroidism、Perthes病がある。

2) 坐骨恥骨結合の左右差

坐骨恥骨結合の両側に癒合がみられるのは4歳で6%、12歳で83%と報告されている。4から8歳で22%に非対称性の肥大が見られる (Fig.9)。肥大は1から3年続く。骨シンチで取り込みが見られるが、三角軟骨Triradiate cartilageよりは取り込みが少ない。MRIT2強調画像でわずかに高信号となる⁷⁾。

四 肢

1) O脚とX脚^{8,9)}

下肢の変形としてよく遭遇するものは、下肢

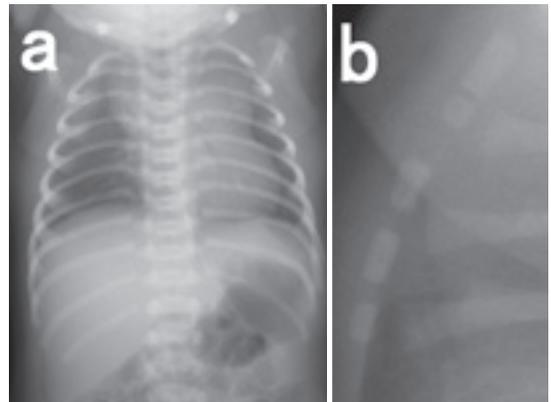


Fig.8 a: 胸部単純X線写真正面像
b: 胸部単純X線写真側面像
0歳男児 Down症児であり、肋骨は11対、胸骨柄の骨化核が多く認められる。

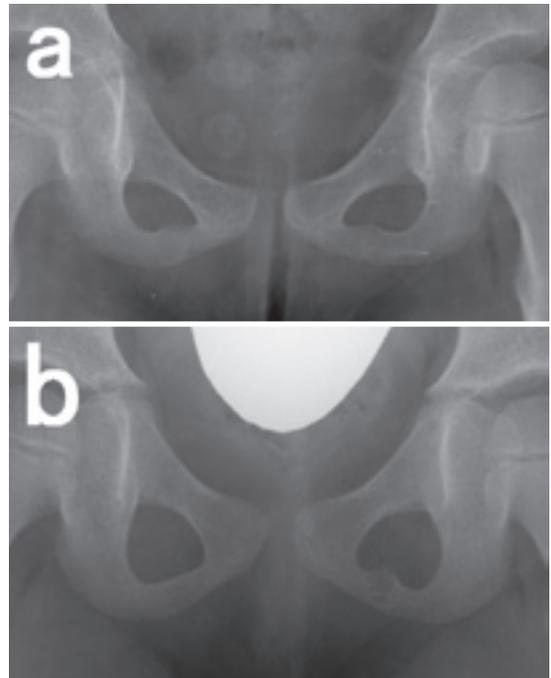


Fig.9 a: 股関節正面単純X線写真 3歳10か月時、
b: 股関節正面単純X線写真 4歳4か月時
坐骨恥骨結合部での膨隆が見られ、左右差を伴っている。6か月の間で膨隆が右は目立たなく、左は目立ってきている。

前額面の変形であるO脚とX脚である。O脚は両側膝関節が外方凸に弯曲した内反変形であり、X脚は両側膝関節が内方凸に弯曲した外反変形である。小児は1歳6か月から2歳ごろまで生理的なO脚であり、その後X脚となり7歳ごろ成人の下肢アライメントになる。様々な疾患が鑑別になるが、外傷で生じる場合は片側性であること、また骨性架橋(Bone Bridge)を認めることがある。下腿軸も生理的な変化が見られ、2歳ごろまで足軸は大腿軸に対し内捻しているが、その後は外捻して13から15歳頃をピークに成人の角度に近づく。両下肢膝中心の単純X線立位正面像を撮影し、Femorotibial angle (FTA) を計測する。生後1歳6か月から2歳でFTAは0度となる。

①O脚

1歳6か月から2歳まで生理的にO脚である(Fig.10)。変形が進行することはまれである。年長児になっても変形が残る場合は介入を考慮する。鑑別する疾患としてBlount病が知られており、鑑別にMRIが有用である。Blount病は、近位脛骨骨端軟骨の发育障害であり、脛骨の内反変形を生じる。2歳以降の幼児に見られ、初期に生理的O脚と類似する。そのほか、低リン血症性ビタミンD欠乏性くる病、軟骨無形性症、骨幹端異形成症(Schmid型)や偽性軟骨無形性症が知られている。加齢とともに軽快するものとしてfocal fibrocartilagenous

dysplasiaが知られている¹⁰⁾。歩行開始ごろから高度のO脚を伴い、単純X線写真で近位脛骨骨幹端から骨幹内側周囲に骨硬化を伴う骨皮質欠損を認める(Fig.11)。加齢とともに自然に軽快する。まれにX脚を呈した症例や大腿骨に発生した症例もある^{11,12)}。

②X脚

X脚も生理的に見られる所見である。鑑別となるX脚を呈する疾患は先天性脊椎・骨端

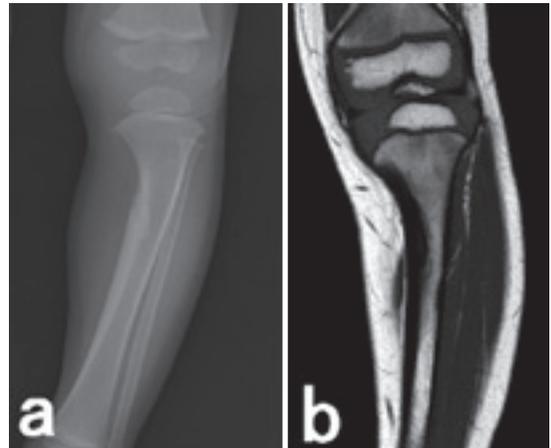


Fig.11 a: 下腿正面単純X線写真
b: 下腿MRIT2強調像冠状断
1歳7か月女児。単純X線写真で近位脛骨骨幹端から骨幹内側周囲に骨硬化を伴う骨皮質欠損を認める。

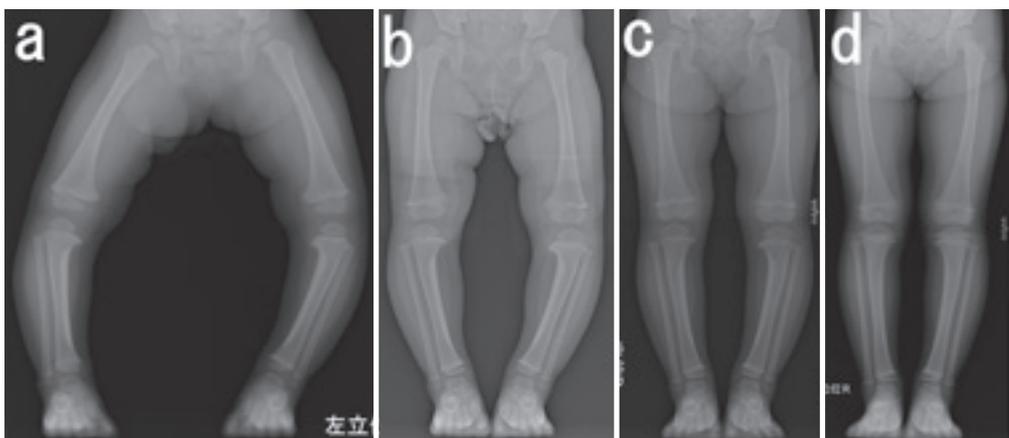


Fig.10 下肢単純X線写真正面像
a: 1歳11か月, b: 2歳6か月, c: 3歳2か月, d: 3歳9か月時
初診時1歳11か月の女児。O脚の所見は年齢の経過に伴って次第に改善。

異形成症, Morquio病, Ellis-van Creveld病などである。これらの疾患は家族歴の有無が重要である。

2) FCD (Fibrous cortical defect)

主に大腿骨遠位骨幹端背側・内側の皮質内傍骨性に見られる線維組織の局所的な増殖である。単純X線写真で辺縁に骨硬化を伴う境界明瞭な透亮像を呈する。早ければ1歳半でも認めることがあるが、通常は5から6歳で最も発達し、正常児の40%以上に見られる。通常は次第に不明瞭化していく。

3) 膝蓋骨

①膝蓋骨骨化核の多様性

膝蓋骨はもっとも大きな種子骨であり、大腿・下腿筋が起始停止する部位である。分裂膝蓋骨は複数個に分裂した状態の膝蓋骨のことであり、その成因ははっきりとしていない。正常変異の一つとされ、Saupé分類が知られている。下端が分裂しているのがI型、外側が分裂するのがII型(Fig.12)、外側上方が分裂するのがIII型であり、III型が多い¹³⁾。

②Dorsal defect of the patella

Dorsal defect of the patellaは、1%に見られる正常変異である¹⁴⁾。膝蓋骨の背側関節面皮質下に透亮像として認められる。外側上方に

見られることが多く、辺縁に骨硬化を伴っており、平均9mm程度の大きさである。MRIでは表層に軟骨を認めるが、菲薄化や陥凹がみられる。

4) 骨幹端のT2延長(FOPE)¹⁵⁾

膝関節MRI画像で骨端線周囲に見られるT2延長域のことであり、いわゆるFocal periphyseal edema (FOPE)といわれる(Fig.13)。正常の発達過程の一部を見ているのではないかと推測されている。骨端線の閉鎖は骨幹部と骨幹端の間の架橋から始まり、骨と骨髄に置き換わる正常の発達過程である。この過程を見ていると報告されているが、外傷後の骨架橋と鑑別が難しい。

5) 骨膜反応と間違えてとらえられるもの

①生理的骨膜反応

大腿骨、上腕骨などの長管骨に見られる左右対称性の骨膜反応は新生児期に見られ生理的なものである。未熟児や満期産児を含めて1から5か月の年齢に見られる。通常は2mm以下の厚さで辺縁は平滑である。最も見られるのは脛骨、大腿骨、上腕骨であるが、時に橈骨や尺骨にも見られる。通常は左右対称であるが、1/2から1/3で非対称性に見られる⁶⁾。骨膜反応と鑑別を要するものとして動脈管開存維持のため投与されたPGEによる骨膜肥厚が有名であったが、リポ化製剤に変更後、投与量

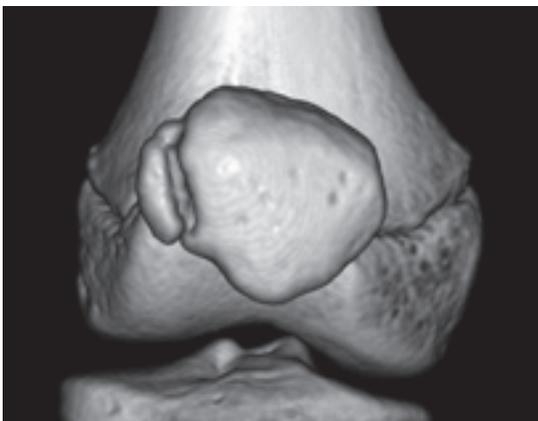


Fig.12 CT再構成画像
膝蓋骨 膝蓋骨外側が分離しておりSaupé分類II型にあたる。

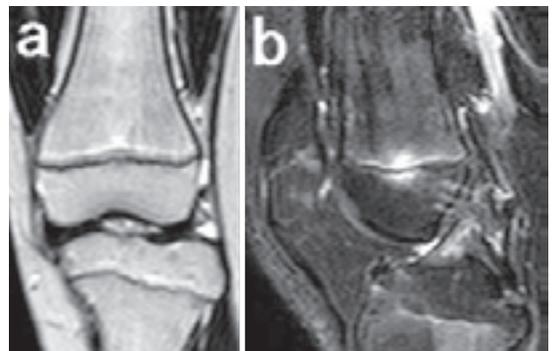


Fig.13 a: MRIT2強調画像冠状断
b: MRI脂肪抑制T2強調画像矢状断
14歳女児FOPE。大腿骨遠位骨幹端にT2強調画像で高信号を認める。

が1/10程度になったためほとんど見られなくなった。一方で、Caffey病，壊血病，慢性再発性多発骨髄炎 (CRMO) や SAPHO (synovitis, acne, pustulosis, hyperostosis and osteitis) 症候群などの炎症性疾患，慢性肺疾患による肥厚性骨関節症でも骨膜肥厚が目立つことがある。

②投影方向による偽病変

投影方向によって，正常の骨形態でも骨膜反応があるように見えてしまうことがある。胸部単純X線写真で上腕骨に骨膜反応が疑われるような場合は，正しい肢位で再度撮影することも必要となる。

6) 指趾

①Curly toe

趾が隣接する趾の下に屈曲して入り込む奇形である (Fig.14)。足底の腱の問題と考えられているが，原因は不明である。通常は3から5趾に多く，小児でよく見られるものである。症

状によって，腱の移動などを要することがある。

②Brachymesophalangy of the little finger

小指の末節骨と中節骨の長軸の長さの比は1:1.1~1.3と報告されており，同じ長さであれば中節骨の短縮があると判断される。小指の弯指Clinodactylyは外傷性がなければ，通常はこの変異によると考えられている (Fig.15)。4~17歳で男児の14%，女児の23%に認めると報告されている¹⁶⁾。

骨 髄^{17~20)}

骨髄の赤色髄から黄色髄への変化はMarrow conversionと言われる。造血は胎生期に胎児卵黄嚢で始まり，妊娠中期に肝臓，脾臓に移り，後期や出生後に骨髄が主要な造血臓器となる。四肢骨の赤色髄から脂肪髄の変化は，指・趾節骨など末梢から中枢の上腕骨大腿骨に進む。骨端Epiphysisの赤色髄から黄色髄への変化は二次骨化核の出現から6か月以内に始まり，その後



Fig.14 左趾単純X線写真真正面像
両側の第4趾が第3趾の底側に入り込んでいる。明らかな骨性の異常は認めない。



Fig.15 右小指単純X線写真真正面像
小指の中節骨が末節骨より短い。小指は弯指の状態となっている。

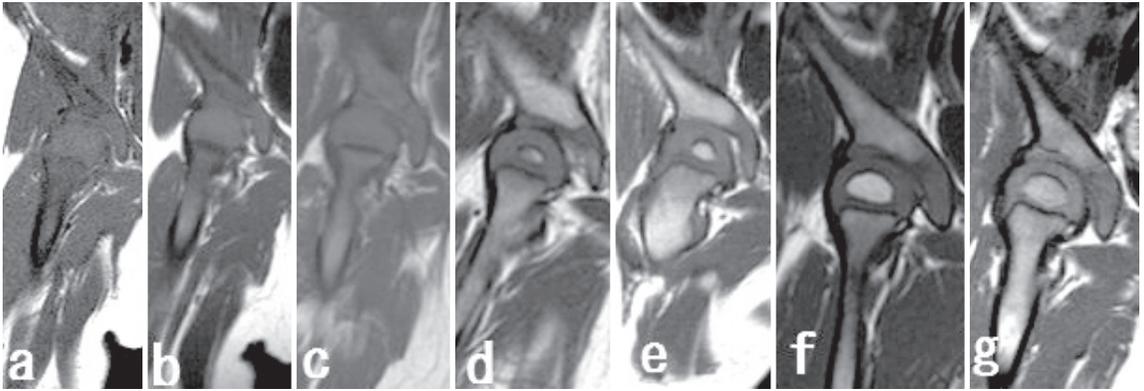


Fig.16 大腿骨，骨盤部MRIT1強調像，a：生後25日，b：4か月，c：6か月，d：9か月，e：1歳2か月，f：1歳5か月，g：1歳8か月（各別症例）

大腿骨の赤色髄から黄色髄への変化。生後25日では骨髓はT1強調画像で低信号であるが，骨端，骨幹部より次第に脂肪髄化が見られている。近位骨幹部の赤色髄がT1強調像で低信号として残存しているのがわかる。

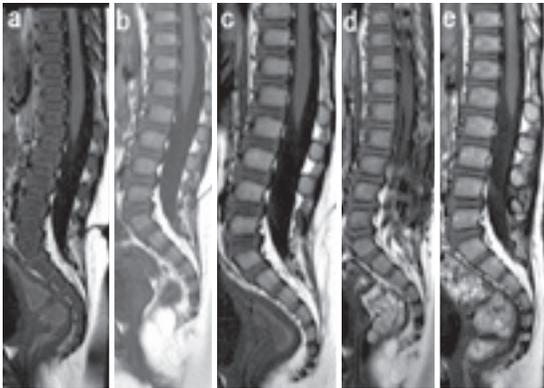


Fig.17 MRT1強調像胸腰椎矢状断像

a：生後2か月，b：6か月，c：9か月，d：12か月，e：2歳（同一症例）
2か月時，椎体は椎間板に比べ低信号であるが，次第に等信号から高信号に変化している。

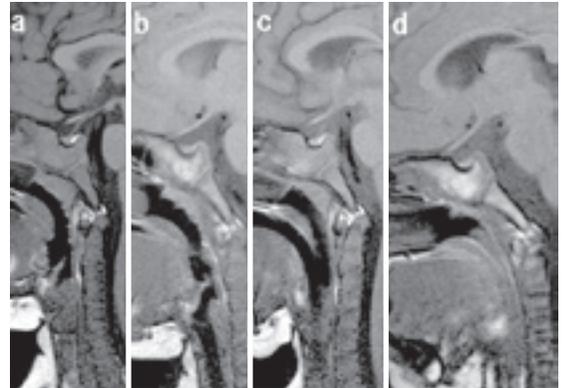


Fig.18 T1強調像矢状断像，男児

a：1歳7か月，b：1歳9か月，c：2歳，d：2歳1か月時
斜台は急速にT1強調画像で高信号化しており，急速な脂肪髄化を認める。

骨幹Diaphysisから骨幹部Metaphysesに進む。そのため，赤色髄として最後まで残るのは，大腿骨，上腕骨の近位骨幹部となる。小児大腿骨の黄色髄への変化は1から5歳で骨幹部からはじまり，5から10歳で完了する（Fig.16）。骨端の骨髓は骨端核出現後に急速に進む。G-CSFを使った治療があれば逆の過程で赤色髄化が生じる。椎体では，赤色髄から脂肪髄への変化によりMRIT1強調像では，1歳までは椎間板に比べ低信号，1から5歳は等信号，5歳以降は椎間板より高信号となる（Fig.17）。斜台では2歳前後

で脂肪髄が見られるようになる（Fig.18）。斜台はルーチンの頭部MRI画像で撮影範囲に含まれており，病変の骨髓進展，骨転移の所見を呈する可能性があり，正常の見え方に慣れておく必要がある。脂肪髄の消失であれば，病変の指摘は比較的容易となるが，赤色髄と病変の鑑別は難しい。赤色髄は脂肪40%，水40%，蛋白20%であり，造影効果を伴う，T1強調像で筋肉と等から高信号，T2強調像で筋肉と等信号と報告されている。脂肪髄は脂肪80%，水15%，蛋白5%と報告されている。赤色髄はMRIでは骨端軟骨

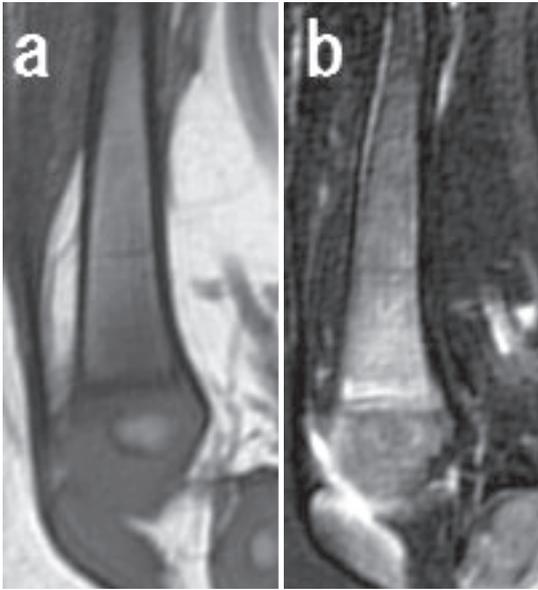


Fig.19 a: T1強調像矢状断像 b: T2強調像矢状断像
4か月女児. 大腿骨遠位には, 骨端線と垂直に走る線状の構造を認める. 赤色髄を反映した所見である.

Physisに底辺を持つFlamed-shape (火炎形状) もしくはPaintbrush appearance (刷毛でかかれたような形状), Straight vertical marginなどのsignが知られている (Fig.19). また, 外傷後の後・中足部の加重部の変化による赤色髄化も知られており, 病変と間違えやすい¹¹⁾ (Fig.20).

●文献

- 1) Slovis TL : Caffey's Pediatric Diagnostic Imaging with Website : 11e. 2007/12/4 (Mosby ; 11版) . (p430-433)
- 2) キース・L・ムーア: ムーア発生学. 原著第8版. 東京, 医療薬出版, 2011, p319-336.
- 3) T.W.Sadler : ラングマン人体発生学. (10版) . 東京, メディカルサイエンスインターナショナル, 2010, p137-156.
- 4) Wang W, Zhen X, Sun X, et al : The value of different Risser grading systems in determining growth maturity of girls with adolescent idiopathic scoliosis. Stud health technol inform 2012 ; 176 : 183-187.
- 5) Wang SF, Qiu Y, Zhu ZZ, et al : [Assessment of the residual spine growth potential in idiopathic scoliosis by risser sign and histological grading]. Zhonghua yi xue za zhi 2008 ; 88 : 461-464.
- 6) Slovis TL : Caffey's Pediatric Diagnostic Imaging with Website : 11e. 2007/12/4 (Mosby ; 11版) . (p1389-1430)
- 7) Slovis TL : Caffey's Pediatric Diagnostic Imaging with Website: 11e. 2007/12/4 (Mosby ; 11版) . (p2556-2593)
- 8) Staheli LT : Torsional deformity. Pediatr clin North Am 1986 ; 33 : 1373-1383.
- 9) Salenius P, Vankka E : The development of the tibiofemoral angle in children. J bone Joint Surg Am 1975 ; 57 : 259-261.
- 10) Jouve JL, Kohler R, Mubarak SJ, et al : Focal fibrocartilaginous dysplasia ("fibrous periosteal inclusion"): an additional series of eleven cases and literature review. J Pediatr Orthop 2007 ; 27 : 75-84.



Fig.20 a: T1強調像矢状断像
b: 足単純X線写真側面像
11歳男児. 足根骨はT1強調画像で不均一な低信号を呈している. 特に症状はなく, 体重負荷による骨髓不均一を見ていると思われる.

- 11) Santos M, Valente E, Almada A, et al : Tibia valga due to focal fibrocartilaginous dysplasia : case report. *J Pediatr Orthop B* 2002 ; 11 : 167-171.
- 12) Verhoeven N, De Smet L : Focal fibrocartilaginous dysplasia in the upper limb :case report and review of the literature. *Genet Couns* 2013 ; 24 : 373-379.
- 13) Lawson JP: Symptomatic radiographic variants in extremities. *Radiology* 1985 ; 157 : 625-631.
- 14) Safran MR, McDonough P, Seeger L, et al : Dorsal defect of the patella. *J Pediatr Orthop B* 1994 ; 14 : 603-607.
- 15) Zbojniec AM, Laor T : Focal Periphyseal Edema (FOPE) zone on MRI of the adolescent knee : a potentially painful manifestation of physiologic physeal fusion? *AJR Am J Roentgenol* 2011 ; 197 : 998-1004.
- 16) 杉浦保夫, 中沢 修 : 骨年齢. 1968/09 (中外医学社).
- 17) Laor T, Jaramillo D : MR imaging insights into skeletal maturation : what is normal? *Radiology* 2009 ; 250 : 28-38.
- 18) Varich LJ, Laor T, Jaramillo D : Normal maturation of the distal femoral epiphyseal cartilage: age-related changes at MR imaging. *Radiology* 2000 ; 214 : 705-709.
- 19) Thapa MM, Iyer RS, Khanna PC, et al : MRI of pediatric patients : Part 1, normal and abnormal cartilage. *AJR Am J Roentgenol* 2012 ; 198 : W450-455.
- 20) Okada Y, Aoki S, Barkovich AJ, et al : Cranial bone marrow in children: assessment of normal development with MR imaging. *Radiology* 1989 ; 171 : 161-164.