

<特集「知っておきたい表在性軟部腫瘍—すべての臨床医のために—」>

表在性軟部腫瘍の画像診断

竹 澤 佳 由*

京都府立医科大学大学院医学研究科放射線診断治療学

Imaging of Superficial Soft-tissue Tumor

Kayu Takezawa

Department of Radiology,

Kyoto Prefectural University of Medicine Graduate School of Medical Science

抄 録

表在性軟部腫瘍において画像診断は生検部位や切除範囲の決定、再発診断において有用である。表在性軟部腫瘍の画像診断に用いるモダリティには超音波、単純X線、CT、MRI、核医学検査（ ^{201}Tl シンチグラフィ、 ^{18}F -FDG-PET/CT）がある。超音波は低侵襲かつ空間分解能が高く、第一選択のモダリティである。単純X線は、石灰化や骨病変に有用であるが、得られる情報は少ないことが多い。MRIは、腫瘍の組織性状、血管床など質の評価に優れる。 ^{201}Tl シンチグラフィ、 ^{18}F -FDG-PET/CTは、腫瘍のバイオプティの評価に有用であり、形態画像に付加的情報を与える。これらモダリティの進歩により、病変の広がり診断や性状評価は格段に向上した一方で、表在性軟部腫瘍の画像所見の多くは非特異的であり、良悪性の鑑別においては未だ課題が多い。一般的に腫瘍サイズが大きいほど、また深部へ広がるものほど悪性の可能性が高い。鑑別診断においては、主治医、病理医、画像診断医の連携により、画像所見、頻度、年齢、発生部位などの疫学および臨床情報を総合してアセスメントすることが求められる。

キーワード：表在性軟部腫瘍、画像診断、MRI (Magnetic Resonance Imaging)。

Abstract

Imaging technologies can provide valuable clues for pretreatment workup, biopsy, and remission assessment in superficial soft-tissue tumors. Superficial soft-tissue tumors can be visualized using sonography, radiography, CT, MRI, ^{201}Tl scintigraphy, and ^{18}F -FDG-PET/CT. Sonography is the first-line modality for screening of superficial soft-tissue lesions due to the advantages of high spatial resolution and non-ionizing radiation. Radiography is suitable for assessing calcifications and coexistent osseous involvement and MRI provides the information of internal characteristics including soft-tissue contrast and tumor vasculature. Both ^{201}Tl scintigraphy and ^{18}F -FDG-PET/CT could add the information of tumor viability and can complement morphological imaging. Although advances in imaging technologies can enable us to detect superficial soft-tissue lesions more precisely, there have still been a problem that non-specific imaging features can often overlap between benign and malignant tumors of superficial soft tissues. Generally, malignancies tend to be larger and penetrate the adjacent structures to soft tissue

平成28年4月19日受付

*連絡先 竹澤佳由 〒602-8566 京都市上京区河原町通広小路上路梶井町465番地
tkayu@koto.kpu-m.ac.jp

tumors more deeply. Medical practitioners, pathologists, and radiologists should share and discuss opinions about lesions based on imaging features, tumor prevalence, anatomical location, clinical manifestations, and the age of the patient to determine a rational diagnosis.

Key Words: Superficial soft-tissue tumor, Diagnostic image, MRI (Magnetic Resonance Imaging).

はじめに

1895年のX線発見を契機に画像診断が進展してきたが、殊に過去30～40年間の超音波、CT (Computed Tomography)、MRI (Magnetic Resonance Imaging) や核医学検査などの画像モダリティの進歩は著しく、それとともに軟部組織を対象とした画像診断は劇的に変化してきた。単純X線が画像診断の主軸であった頃と比較すると、軟部腫瘍の存在診断、広がり診断、質的診断は格段に向上し、画像診断は治療方針の決定に不可欠となった。しかし、軟部腫瘍は非特異的な画像所見を呈することが多く、良悪性の鑑別においては今なお課題が多い¹⁾。

今回対象とする表在性軟部組織とは浅筋膜よりも表層の組織である。画像モダリティとしては、超音波、単純X線、CT、MRI、核医学検査 (²⁰¹Tlシンチグラフィ、¹⁸F-FDG-PET/CT) がある。本稿では形態評価に優れるMRIを中心に、これらのモダリティの有用性と限界について概説する。最後に、画像所見に基づく良悪性の鑑別の現状について述べる。

超音波

超音波は、低侵襲かつ安価で多くの情報が得られるため、表在性軟部腫瘍の画像診断では第一選択のモダリティである。近年の高周波プローブの進歩による空間分解能、コントラスト分解能の向上は著しい。空間分解能においては、一般的に超音波の方が3テスラMRIよりも優れるといわれる。さらに超音波は可動性、硬度、血流などの情報も得られる。リアルタイムでの観察が可能であり、ターゲットを確実に捉えた安全な穿刺には、超音波ガイド下で行うことが推奨される。欠点は、検者の技量により病変の描出に差異が生じるため再現性や客観性に

乏しいことや、空気や石灰化・骨が存在する領域ではこれらの表面で音波が反射し、深部の評価が不十分になることなどが挙げられる。

単純X線、CT

単純X線は石灰化や隣接する骨病変の検出に優れており、軟部腫瘍の画像診断に有用である。Gartnerら²⁾によると、軟部腫瘍の症例の62%に単純X線でなんらかの所見が認められ、所見の内訳は腫瘤31%、石灰化17%、骨病変(骨皮質のびらん、骨膜反応、病的骨折など)14%、病巣内の脂肪7%であったと報告している。単純X線での石灰化の指摘は容易である一方、MRIでは石灰化と断定することは困難なことが多く、この点において単純X線とMRIは補完的な関係にある。また、ときに単純X線の所見が鑑別診断のkeyとなり有用である(図1)。CTは同じくX線を用いたモダリティであり、断層撮像が可能である。しかし、被曝のリスクやMRIに比べて組織コントラストが劣る。表在性病変においては、単純X線で石灰化や骨病変の評価が不十分な例や、MRI施行困難例のほか、詳細な血管解剖を把握するためのダイナミック造影など、適応は比較的限定的である。

MRI

MRIは組織コントラストに優れ、任意断面の撮像が可能であり、軟部腫瘍の質的診断、広がり診断に優れている。表在性病変においては、超音波や臨床所見で評価が不十分な例や悪性病変が臨床的に疑われる症例適応となる。ただし、MRI非対応の体内金属・ペースメーカーを有する患者には禁忌である。また乳幼児では、騒音下で長時間の安静を確保するために入眠処置を要することが多い。

1. MRI の撮像法

MRI で最適な画像を得るためには、撮像部位、目的に応じた適切なコイルの選択や撮像シーケンスの最適化が重要である。検査前に体表から患部を確認し撮像範囲を決める。事前に臨床情報を共有することは円滑な検査施行に必要である。体位、コイルの装着、マーカー貼付部位には、病変部の変形や圧迫をきたさないように配慮する。

撮像断面は、最低でも病変部に直交する2断面は必要である。特に病変の最大面が得られ、かつ骨や血管などの既存構造との関係性が把握しやすい断面像を選択することが重要となる。

最近では、軟部腫瘍症例に対する等方向性3次元撮像の応用が進んでいる。従来の2次元撮像

に比べて、信号雑音比が高く、任意断面の高分解能画像を再構成できる利点がある。

Ahlawat ら³⁾は、悪性軟部腫瘍の再発診断の造影MRIにおいて、従来の2次元撮像による2方向撮像に比して、等方向性3次元撮像の方が撮像時間は短く、かつ分解能も高かったと有用性を報告している。ただし、体動に弱いことやインプラント周囲などでアーチファクトが大きいことの問題点がある他に、ブラーリングが発生するため、現状ではそれが問題となることが特に多い。しかし、今後のMRI装置の進歩によりいずれ解消されていくのではないかと考える。

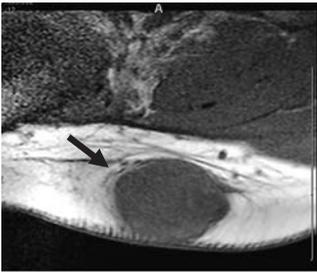
2. MRI のパルスシーケンス

表在性軟部腫瘍では病変部位や形態が様々であり、プロトコルを標準化しづらい。当院で

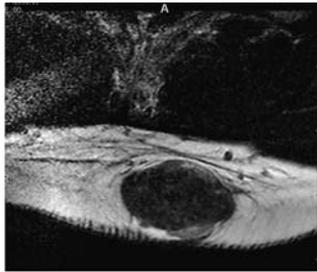
石灰化の同定が診断に有用な例

MRI

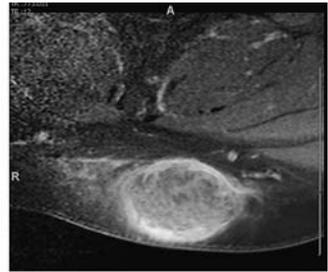
(a) T1強調像



(b) T2強調像



(c) 造影脂肪抑制T1強調像



(d) 単純X線 側面像



(e) 単純CT



図1 石灰化上皮腫

(a) (b) (c) 後背部正中の皮下腫瘍は、MRIのT1強調像、T2強調像とともに低信号で辺縁に造影効果を呈する。石灰化は鑑別に挙がるが確定的ではない。(d) (e) 単純X線、CTでは石灰化の同定が容易であり診断のkeyとなる。

は、T1 強調像、T2 強調像を基本とし、症例ごとに有用な情報を短時間で得られるように撮像プロトコールを立てている。以下に、軟部組織でよく使われるパルスシーケンスの例を紹介する。

多くの表在性軟部腫瘍は背景に正常の脂肪組織が見られる。ところが脂肪は T1 強調像、T2 強調像ともに高信号を呈するため、病変部の信号と分離し難いことがある。そこで背景の脂肪信号を抑制すれば、多くの場合は病変の視認性を高めることができるため、軟部組織を主目的とする MRI 撮影ではこの脂肪抑制法が汎用される。具体的には、①脂肪の特異的な検出が可能となる (図 2-1)、②浮腫、炎症、腫瘍など T2 強調像で高信号となる病変の描出能を高める (図 2-2、2-3)、③造影効果の描出能を高めるなどの利点がある。

陳旧性や反復性の出血病変を疑う場合には、ヘモジデリン沈着の検出に鋭敏である T2* 強調像が有用である。

拡散強調像は、水分子のブラウン運動の程度を画像化したものである。組織の拡散能を表す数値として、見かけの拡散係数 (apparent diffusion coefficient: ADC) を使う。拡散が制限された部位では、拡散強調像で高信号、ADC の低値を呈する。一般的に悪性腫瘍では、良性病変よりも細胞密度が高いため、拡散低下を反映し ADC がより低値となることが多いと言われている⁴⁾。ただし、良悪性の鑑別に特異的ではなく、例えば良性病変でも膿瘍では拡散低下を呈することがよく知られている。

3. 造影 MRI

造影検査は、①充実性腫瘍と嚢胞や血腫との鑑別、②生検や治療前後のバイアブルな病変部

脂肪抑制法が有用な例

図2-1.

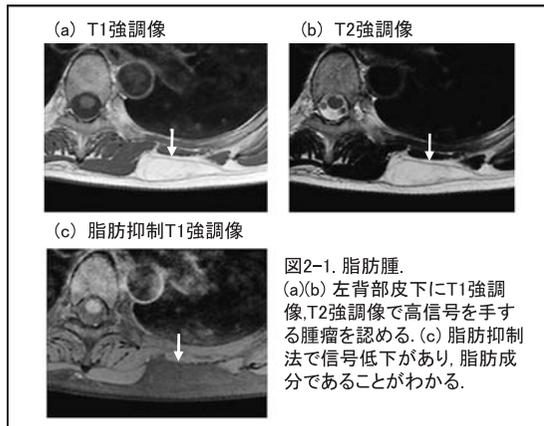


図2-3.

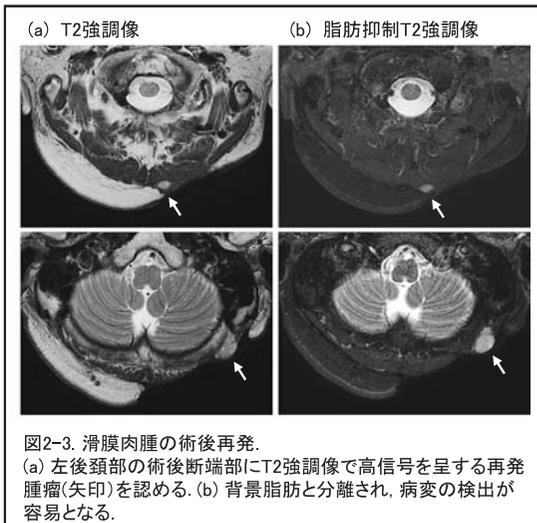
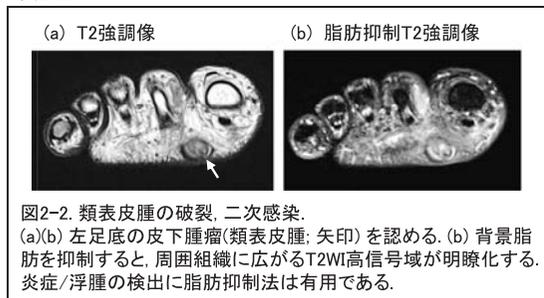


図2-2.



位の同定に有用である。一般的には、造影剤を緩徐に静脈内投与したのち、造影剤が血管内と間質に均等に分布した、いわゆる平衡相と呼ばれる時相で撮像することが多い。造影効果の有無を判断するにはこの方法で十分である。ときに病変の血管の多寡や経時的な造影パターンが有益な情報となる症例では、ダイナミック造影を施行することもある。

a. ダイナミック造影 MRI

造影剤を急速に投与するダイナミック造影では、腫瘍の血管床や組織の灌流状態が評価できる。病変に関心領域 (region of interest; ROI) を置き、経時的に信号強度の変化を解析した time-intensity curve (TIC) では、半定量的な評価が可能である (図3)。TIC の5つのタイプおよび

各パターンに見られる疾患を図に示す⁴⁾⁵⁾ (図4)。First pass における早期濃染は血管の豊富さを反映しており、TIC のタイプにより血管の多寡が推測可能である。しかし、鑑別診断においては良悪性のオーバーラップが大きく、非特異的である⁴⁾⁵⁾。治療後の残存腫瘍と瘢痕との鑑別に有用とも言われるが、造影効果は血管床や間質の差異を反映した所見であり、腫瘍のバイアビリティ評価の点では、核医学検査の方が有用である。

b. 造影効果の検出を高める方法：サブトラクション法

軟部組織の造影効果の描出能を高める工夫として、前述の脂肪抑制法を用いたパルスシーケンスを使用することが多いが、造影前後の画像

ダイナミック造影MRI

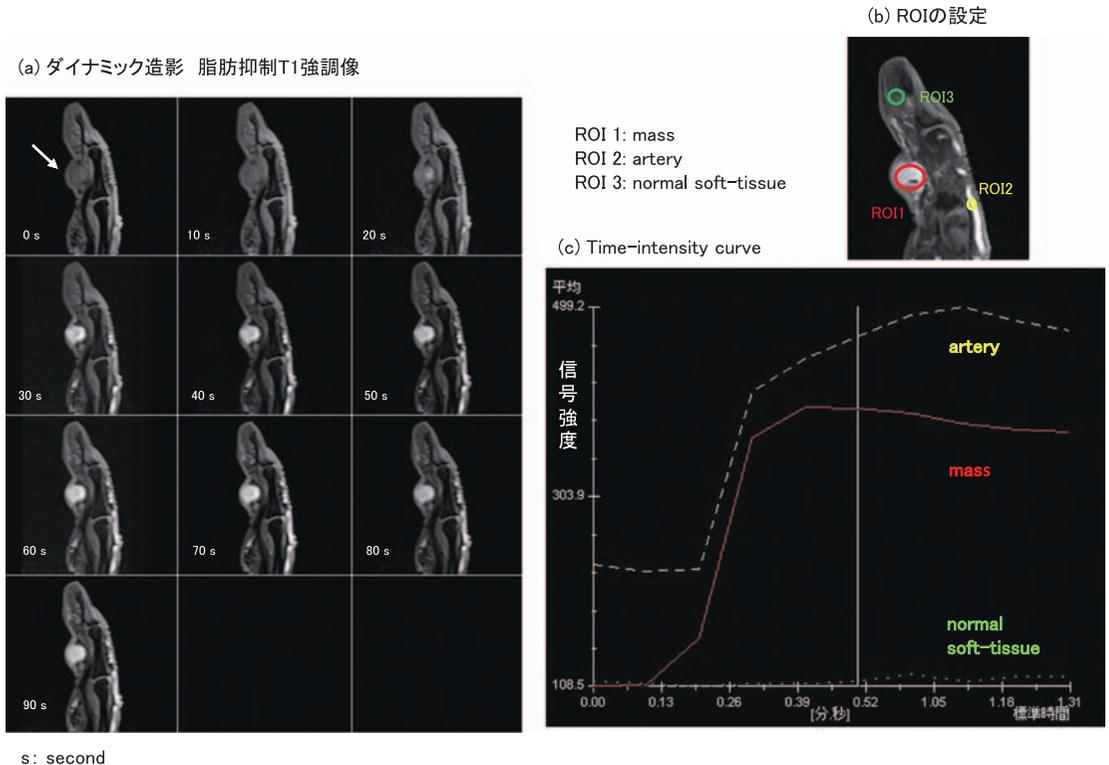


図3 化膿性肉芽腫

- (a) 右示指掌側の皮下腫瘍の90秒間のダイナミック造影MRIを示す。
- (b) ①病変部、②動脈、③正常軟部組織にROIを設定する。
- (c) Time-intensity curve では早期濃染、plateau わずかに washout パターンを呈する。多血性病変が示唆される。

Time-intensity curve のタイプ

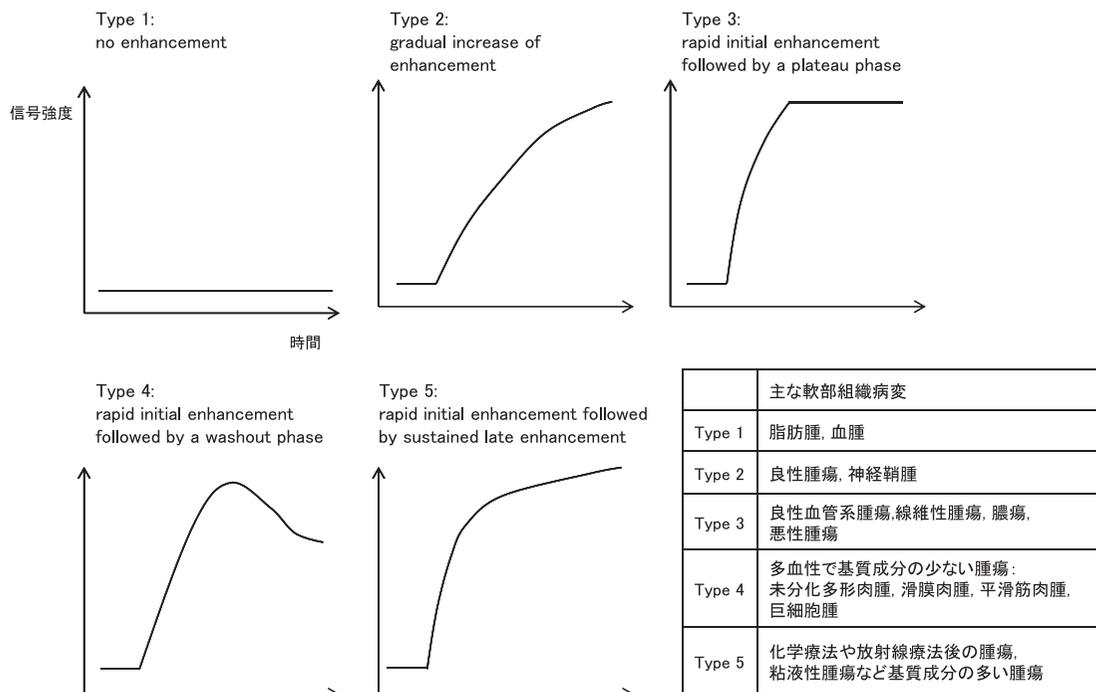


図 4

の差分処理を行うことで、変化した信号、すなわち造影域のみを検出する手法もあり、サブトラクション法という。

例えば、高蛋白成分を含む嚢胞性腫瘍や血腫などは、T1 強調像で高信号を呈する。これらは造影後 T1 強調像においても腫瘍内部は高信号を呈するため、真の造影効果の判別が困難となる。その場合、サブトラクション法を用いれば造影域の検出が容易となる (図 5)。サブトラクション法の方が、脂肪抑制法よりも造影域の検出能が向上した³⁾ とする報告もある。

ただし、サブトラクション画像は造影前後で位置ずれがあると、不適切な情報を呈するので、妥当性を確認しなければならない。

核医学検査

放射性同位元素を用いた軟部腫瘍の機能画像検査として、²⁰¹Tl シンチグラフィ、¹⁸F-FDG PET/

CT がある。これらの役割は、①腫瘍の良悪性の鑑別、②悪性度評価、③生検部のガイド、④病期診断、⑤治療効果判定、⑥局所再発診断などが挙げられる。CT との融合画像や他の形態画像と併用することで情報が増える。欠点として、超音波や MRI に比べて空間分解能が低いこと、検査時間が長いこと、検査費用が高いことなどが挙げられ、適応については十分な検討が望まれる。

1. ²⁰¹Tl シンチグラフィ

²⁰¹Tl は K⁺ イオンと同様の挙動を示し、細胞への集積機序としては Na⁺-K⁺ ATPase system や Na⁺-K⁺-Cl⁻ cotransport system が主要な輸送機序といわれる。²⁰¹Tl の集積に影響する要素として、血流、腫瘍のバイアビリティ、膜透過性、細胞密度、細胞活性、腫瘍の種類などがある。

画像収集は ²⁰¹Tl 静注後の First pass 像、15～20 分後の早期像、3～4 時間後の後期像が基本

サブトラクション画像

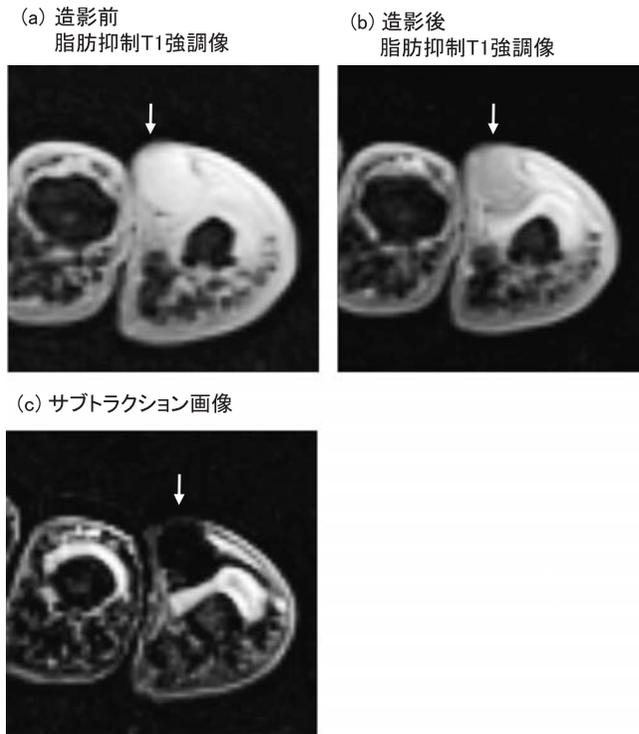


図5 類表皮腫

(a) 左第4趾背側の皮下腫瘍の内部は、造影前の脂肪抑制T1強調画像で高信号であり、(b) 造影効果の判定が困難である。

(c) 造影前後の差分を取ると、腫瘍内部に造影効果がないことがわかる。

である。一般的に悪性腫瘍では ^{201}Tl の洗い出し(washout)が遅くなる傾向があり、早期像、後期像ともに集積が高い。集積程度と悪性度は相関する。例外として、高分化型脂肪肉腫、悪性末梢神経鞘腫瘍などでは悪性腫瘍でも集積が乏しい。逆に良性病変で集積が見られるものとして、巨細胞腫、ランゲルハンス細胞組織球症、線維性腫瘍、血管腫などがある。

^{201}Tl の腫瘍への集積はステロイド、抗がん剤、放射線照射にも影響されにくいいため、術前化学療法の効果判定や再発診断においても有用である。

2. ^{18}F -FDG-PET/CT

^{18}F -2-deoxy-fluoro-D-glucose (^{18}F -FDG)は、ブドウ糖2位の水酸基を陽電子放出核種である

^{18}F で置換した化合物である。ブドウ糖と同様に細胞膜のグルコーストランスポーターにより細胞内に取り込まれリン酸化されるが、解糖系で代謝されずに細胞内に蓄積する。 ^{18}F -FDG-PETはこの性質を利用して腫瘍の描出を得るものである。

一般的に悪性度の高い腫瘍ほど糖代謝が亢進しているため、 ^{18}F -FDGの集積が高くなる傾向にある。Bastiaannetら⁶⁾のシステマティックレビューでは、骨軟部悪性腫瘍の ^{18}F -FDG-PETによる感度は91%、特異度は85%、正診率は88%であったと報告している。ただし、対象とされた骨軟部腫瘍の組織型は多種多様であり、解析結果は参考程度にとどめるべきであろう。悪性度と集積程度にも相関が見られるほ

か、 ^{18}F -FDG の高集積部位をターゲットとした生検では診断価値の高い検体を得やすい。また遠隔転移の検索にも有用である。例外として悪性でも高分化型脂肪肉腫や粘液基質の悪性腫瘍では集積が低く、逆に神経原性腫瘍や、組織球や巨細胞を有する良性腫瘍で集積が高いことが知られている¹⁷⁾。

画像所見のアセスメント

表在性軟部腫瘍の画像所見では、母地、大きさ、形状、辺縁、信号強度やパターン、造影効果などに加え、浮腫、壊死、出血、血管の多寡や骨病変などの随伴所見に注目する。

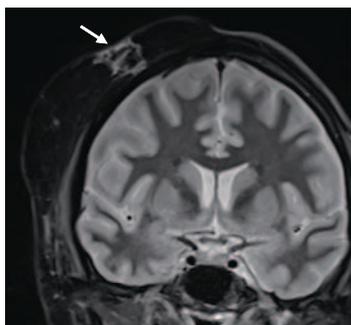
特徴的な所見を呈するものに、脂肪腫、血管腫、血管奇形、嚢胞、血腫などがあるが、それ以

外の多くの病変は非特異的である。Calleja ら⁸⁾は、悪性表在性軟部腫瘍に多い所見として、分葉状の形態、出血、筋膜の浮腫、病変の皮膚への進展などを報告しているが、良悪性のオーバーラップも大きい。また、境界不明瞭な病変は悪性を疑う所見だが、軟部腫瘍では悪性でも境界明瞭な場合も多く、境界の明瞭性は良悪性の鑑別に必ずしも役に立たない。

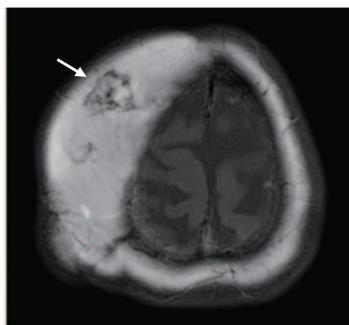
軟部腫瘍診療ガイドライン⁹⁾では、軟部腫瘍において脂肪腫と血管腫、神経鞘腫を除くと、大きさが5 cm 超の腫瘍は悪性腫瘍の可能性が高く、腫瘍のサイズが大きいことや浅層筋膜より深部に存在する腫瘍は予後不良因子とされる。しかし、表在性の悪性軟部腫瘍では5 cm よりも小さいことがある。例えば、The French

治療に伴う変化

(a) STIR (脂肪抑制像)



(b) T1強調像



(c) ^{18}F -FDG-PET/CT

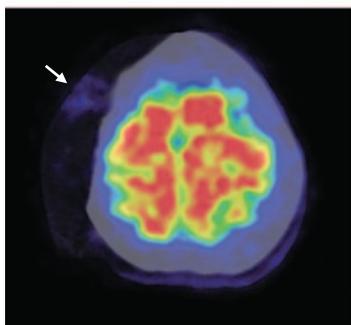


図6 再建皮弁部の脂肪壊死

(a) (b) 右頭部の再建皮弁内にリング状の索状信号、中心部に脂肪信号を呈する領域があり、(c) FDG の濃い集積を認める。生検にて脂肪壊死が確認された。

Sarcoma Group¹⁰ の 367 例の表在性悪性軟部腫瘍の解析では、280 例 (76.3%) が 5 cm 未満であり、中央値は 3 cm であったと報告している。つまり、サイズのみでは悪性を除外できないということになる。

いずれのモダリティにおいても、良悪性にオーバーラップが大きく、鑑別に限界があるため、生検のガイドとしての役割が重視される。しかし、疫学、部位、年齢、病歴や各モダリティの情報を合わせることで、鑑別診断を少し絞れる可能性があり、総合的な判断が求められる¹¹。

生検・治療後の変化、再発診断

生検後や治療後は、二次的変化を伴うため複雑な画像所見を呈する。治療に伴う変化として、腫瘍出血、壊死、石灰化・骨化、周囲組織の浮腫、肉芽・瘢痕、二次感染などがよく見られる所見である。

生検や処置後に初めて残存腫瘍の画像評価を行う場合は、腫瘍本来の性状のほかに医原性の要素を排除しきれず、所見のアセスメントはさらに難しい。再建術後では、筋皮弁の壊死、萎縮、脂肪変性などの変化が見られる (図 6)。ときに筋皮弁や術床部の異常信号や造影効果が遷延することがあり、再発病変との鑑別が問題となることがある。これらの筋皮弁や術床部の異常信号や造影効果は正常化するまで数ヶ月～2 年ほど持続するといわれる¹²。

治療後のアセスメントは、画像所見に加えて

腫瘍組織型、治療経過などの臨床情報を総合して行う。

おわりに

本稿では表在性軟部腫瘍の画像診断に用いるモダリティについて概説した。表在性軟部腫瘍には多種多様な組織型があり、また各々の症例数は多くはないため、画像診断におけるエビデンスの構築は容易ではない。本邦では MRI や CT など高度な画像検査への敷居が低く、頻用される傾向にあるが、表在性軟部腫瘍においては症例ごとに画像検査を取捨選択し、最適なプロトコルを立てることが必要である。そのためには主治医、病理医、画像診断医の連携による情報の共有が不可欠である。画像診断医の立場としては、画像診断のさらなる発展へ貢献するとともに、関係各科を繋ぎ、よりよい診療を支えていきたいと考える。

謝 辞

本稿の作成にあたり助言、ご指導を頂きました野崎太希先生 (聖路加国際病院放射線科医幹/東京医科歯科大学放射線診断科非常勤講師)、横田元先生 (千葉大学大学院医学研究院放射線医学教室/現在 University of California, Los Angeles)、林奈津子先生 (本学大学院医学研究科放射線診断治療学助教)、山田恵教授に心より感謝申し上げます。

開示すべき潜在的利益相反状態はない。

文 献

- 1) Mark JK, Mark DM. Imaging of Soft Tissue Tumors third edition. Philadelphia, PA 19103 U S A. Lippincott Williams & Wilkins 2014; 39-94.
- 2) Gartner L, Pearce CJ, Saifuddin A. The role of the plain radiograph in the characterisation of soft tissue tumours. Skeletal Radiol 2009; 38: 549-558.
- 3) Ahlawat S, Morris C, Fayad LM. Three-dimensional volumetric MRI with isotropic resolution: improved speed of acquisition, spatial resolution and assessment of lesion conspicuity in patients with recurrent soft tissue sarcoma. Skeletal Radiol 2016; 45: 645-652.
- 4) Drapé JL. Advances in magnetic resonance imaging of musculoskeletal tumours. Orthop Traumatol Surg Res 2013; 99(1 Suppl): S115-S123.
- 5) Van Rijswijk CS, Geirnaerd MJ, Hogendoorn PC, Taminiou AH, van Cevorden F, Zwinderman AH, Pope TL, Bloem JL. Soft-Tissue Tumors: Value of Static and Dynamic Gadopentetate Dimeglumine - enhanced MR Imaging in Prediction of Malignancy. Radiology 2004; 223: 493-502.
- 6) Bastiaannet E, Groen H, Jager PL, Cobben DC, Van der Graaf WT, Vaalburg W, Hoekstra HJ. The value of

- FDG-PET in the detection, grading and response to therapy of soft tissue and bone sarcoma; a systematic review and meta-analysis. *Cancer Treat Rev* 2004; 30: 83-101.
- 7) Nose H, Otsuka H, Otomi Y, Terazawa K, Takao S, Iwamoto S, Harada M. Correlations between F-18 FDG PET/CT and pathological findings in soft tissue lesions. *J Med Invest* 2013; 60: 184-190.
- 8) Calleja M, Dimigen M, Saifuddin A. MRI of superficial soft tissue masses: analysis of features useful in distinguishing between benign and malignant lesions. *Skeletal Radiol* 2012; 41: 1517-24.
- 9) 日本整形外科学会監修. 軟部腫瘍診療ガイドライン 2012. 南江堂, 2012.
- 10) Salas S, Stoeckle E, Collin F, Bui B, Terrier P, Guillou L, Trassard M, Ranchere-Vince D, Gregoire F, Coindre JM. Superficial soft tissue sarcomas (S-STS): A study of 367 patients from the French Sarcoma Group (FSG) database. *Eur J Cancer* 2009; 45: 2091-2102.
- 11) Gielen JL, De Schepper AM, Vanhoenacker F, Parizel PM, Wang XL, Sciort R, Weyler J. Accuracy of MRI in characterization of soft tissue tumors and tumor-like lesions. A prospective study in 548 patients. *Eur Radiol* 2004; 14: 2320-2330.
- 12) Garner HG, Kransdorf MJ, Bancroft LW, Peterson JJ, Berquist TH, M M. Benign and malignant soft-tissue tumors-post-treatment MR imaging. *Radiographics* 2009; 29: 119-134.

著者プロフィール



竹澤 佳由 Takezawa Kayu

所属・職：京都府立医科大学大学院医学研究科放射線診断治療学・特任助教

略 歴：2008年3月 京都府立医科大学医学部 卒業

2008年4月 近江八幡市立総合医療センター 初期研修

2009年4月 京都府立医科大学附属病院 初期研修

2010年4月 滋賀医科大学附属病院 放射線科

2011年10月 高島市民病院

2013年4月 京都府立医科大学大学院医学研究科放射線診断治療学

2016年4月～現職

専門分野：画像診断