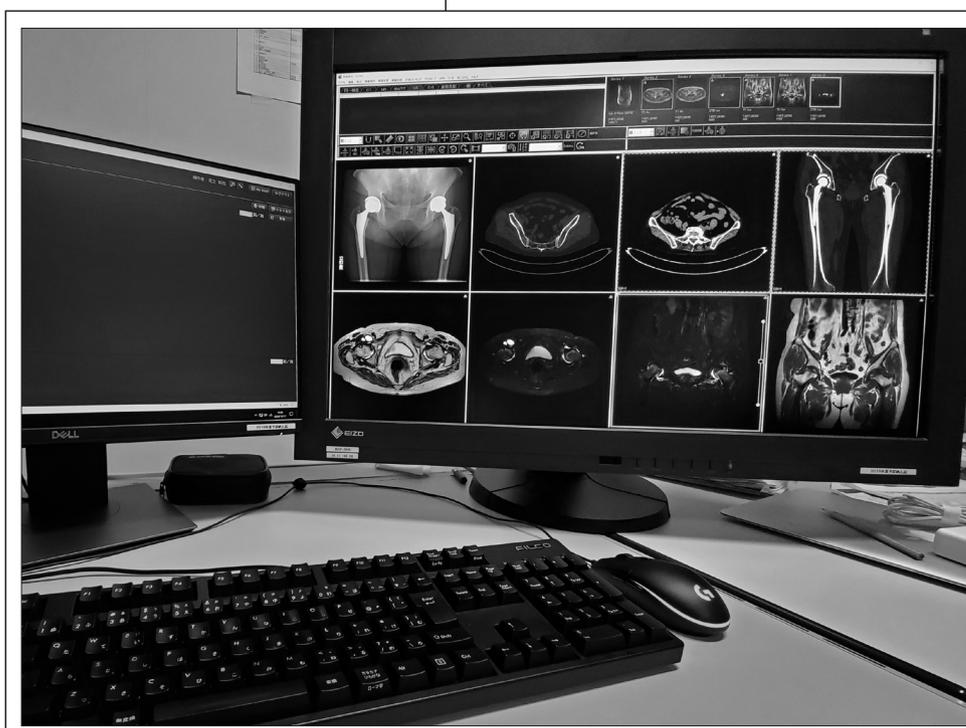


January Special

画像から 読み解けること



画像診断の技術は日々発展を遂げている。足立氏には放射線科医の視点から、撮影時のポイント、CT・MRI・超音波それぞれの特徴、技師やオーダー元の医師との連携の重要性、読影の際の留意点、AIの活用などの今後の展望までお話しいただいた。稲見氏には、筋を見るうえで有用な超音波について、プローブの当て方による違い、動かしながら観察できる特徴とともに、エラストグラフィを用いた質の評価、コンディショニングへの応用を紹介いただいた。

1 画像が診断の助けに 足立拓也 P.2
——放射線科医の業務

2 超音波画像の活用と今後の見通し 稲見崇孝 P.6

1

画像から読み解けること

画像が診断の助けに ——放射線科医の業務

足立拓也

東京医科歯科大学医学部附属病院 放射線診断科、
医師

業務の紹介

放射線科医としてCT、MRIなどに対する画像診断レポートを主治医の先生にお返しするのが主な仕事になります。したがって、実際に患者さんと接する機会は少ないです。最近ではCOVID-19対応もあり、CT所見により注意すべきとする患者さんをふるい分ける業務も行っています。画像診断レポートを記載する際は読影のレポートシステムというものを使用しており、その患者さんの過去のMRIやCT、レントゲン画像を参照しながら読影を行っています。

現在の勤務先ではMRIとCTの操作室には医師が常駐しています。昔は医師が撮影を行っていましたが、現在は放射線技師の方々が撮影してくださる施設がほとんどです。検査は関節だけではなくすべての診療科からオーダーがあり、さまざまな部位で行われます。

主治医の先生が記載した依頼目的に応じて決まっているプロトコルがあれば、それに準じて撮影を行います。プロトコルが当てはまらない場合は私たち放射線科医に相談がきて、技師さんと一緒に考えながら撮影プロトコルを組み立てていきます。患者さんの入室後は撮影体位をとり、位置決め画像、その後に実際に診断に用いる画像を撮像、という流れとなります。位置決め画像は実際に診断に用いる画像ではありません。最終的に撮像する範囲や角度、軸を決定するための仮撮影です。

スポーツに力を入れている医療機関であれば、膝だったらこういう撮影内容というように決めている施設が多いでしょう。一般的に推奨される身体のポジショニングがあり、同じ肢位で撮れるようにトレーニングされていると思います。

ポジショニングによって関節などの写り方が変わってきます。関節角度によって靭帯や腱の緩み方、関節のスペースも変わるためポジショニングが一定でないと過去の画像との比較も難しくなります。検査の再現性が保たれないと治療の経過を追うのも難しくなりますので、そのあたりはシビアにやっている施設が多いと思います。前回は別の施設で撮影した画像を、今回はまた別の施設で撮影した、という画像があったとして、本当に同じものと扱ってよいのかどうかは慎重な判断が必要です。技師さんの経験によっても、得られる画像が異なりますのでスポーツ領域では特に経験の浅い技師さんが先輩と一緒に撮像するのを目にする機会が多いです。

検査は関節だけではなくすべての診療科からオーダーがあります。MRIについては枠が決まっています、ある人が終わったら次の人、というようにタイトにスケジュールが組まれています。

撮影する際には、読影のレポートシステムというのを使用しており、その患者さんの過去のMRIやCT、レントゲン画像を参照しながらどのように撮影するか参考にしています。

各検査の特徴

放射線科の関わる領域ではCTとMRI、単純X線となりますが、整形外科領域では外来で超音波を行い、ある程度鑑別診断

を絞ってから精査というケースが増えています。超音波に詳しい先生は患者さんの超音波画像をカルテ端末に残してくださるので、私はその画像も参考に読影しています。

MRIの原理として、難しい部分については私も理解できないような世界がひろがっていますが、基本的には強い磁場の中に検査するもの(身体)を置き、体内にある水素原子核から発生するごく弱い電波を受信して画像化します

異常(炎症、損傷など)な部位には一般的に水が増えますので、水をしっかりと描出してくれるシーケンスを選ぶことが多いです。具体的には「T2強調画像」「脂肪抑制T2強調画像」「STIR」などと呼ばれるシーケンスでは水を白く描出してくれますので、黒い画像の中から異常が白く描かれます。これらのシーケンスは異常が拾いやすいので整形外科医師も好まれる方が多いです。

それに加えて、整形外科領域では関節の軟骨をみたいという要望がありますので、軟骨が見えるようなシーケンスは入っているはずですが、したがって大きく分けると水と軟骨について重視されていて、それをどの方法から撮影するか、微妙な種類の違いなどについて技師さんと相談しながら組み立てているという感じです。

CTについては最近では様々な技術が出ていますが、基本的にはX線を用いて、それがどのくらい吸収されるかを濃淡で再構成します。その際に骨を見やすくするなどの加工が行われます。CTの場合には造影剤を使用しない限り、一度領域全体を撮影し、再構成画像を作っていくため短時間で検査が終了します。一方MRIは1つの

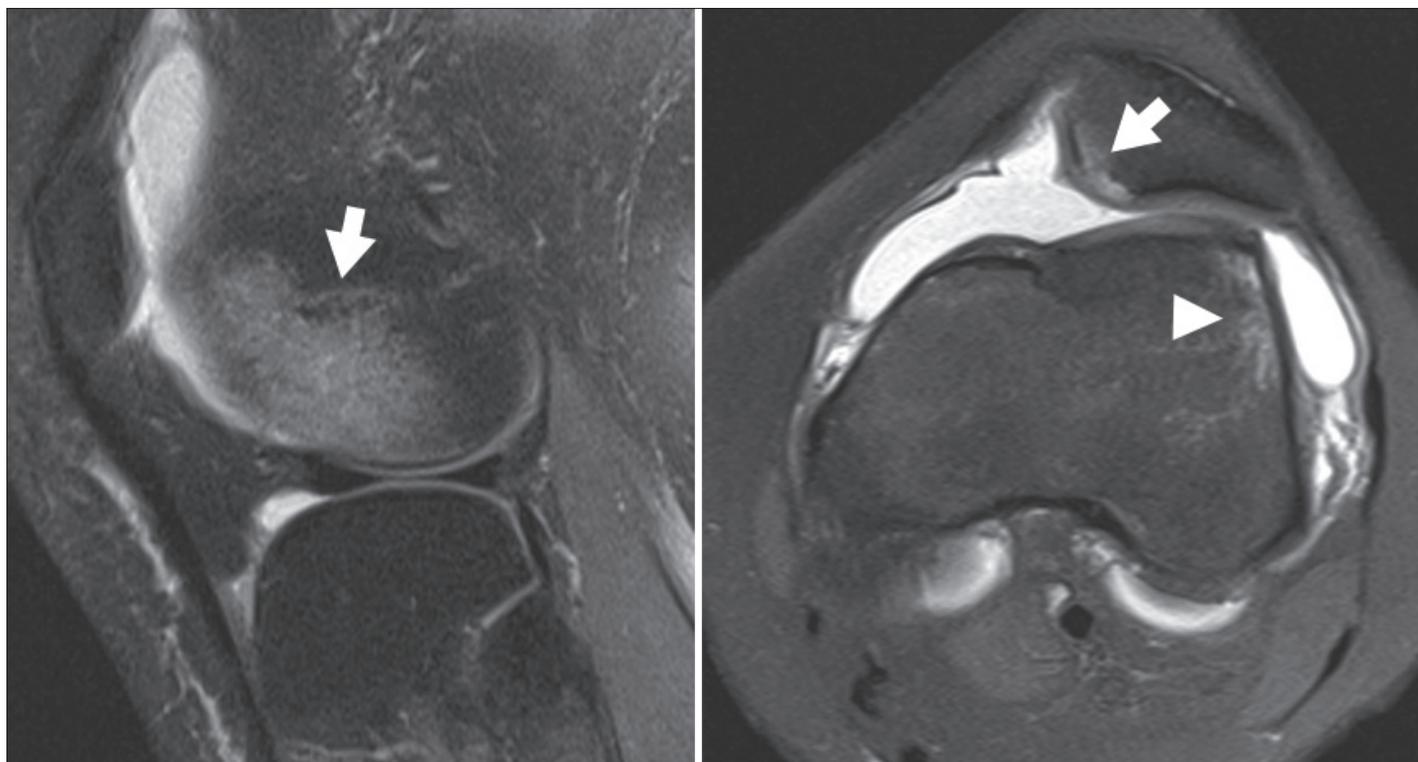


図1 MRI画像

画像から複数の画像を再構成するというのが難しく、事前に決めたメニューを決めて1つずつ撮っていくということになります。したがってMRIのほうが撮影に時間がかかります。

画像検査は広い範囲を撮影すると細かいところが見られないというジレンマがあり、整形外科の先生に診察で当たりをつけてもらうことが重要だと思っています。たとえば膝から下を全部撮影してください、というオーダーがあった場合には、膝の軟骨や半月板など小さな構造の評価は難しくなるというイメージです。事前にこの場所に異常がありそうですという当たりをつけていただくのとそれに適した内容の検査が可能です。術前診察と検査目的の記載が持つ重要性については、広く知られて欲しいと思っています。

頻度としては少ないのですが、四肢以外に頭部を撮影することもあります。出血を鋭敏に撮影できる方法もありますので、脳内出血があればわかります。逆に脳振盪は画像上問題がないことを確認することが重要です。

主治医とのコミュニケーションと放射線科医の臨床的意義

主治医と直接話をするのが一番だと思いますが、外來の先生は忙しく、患者さんの診察中に電話をするのはばかられます。まずはしっかりとカルテ記載を確認するようにしています。

想定外の腫瘍（がんなど）が発見されるケースでは、よいサポートができたと感じます。たとえば腰のMRIを撮影した際に、たまたま腎臓や骨盤内の腫瘍が発見されることがありますが、整形外科の先生は椎間板や骨が気になって撮影しておりますので、端に写っているものは目に入らないことがあります。このような想定外の異常をしっかりと拾い上げることは放射線科医が得意とする点で、存在する意義の一つにもなると思います。

過去に坐骨神経痛のような症状で整形外科の外來を受診し、腰のMRIを撮ると椎間板ヘルニアが見つかった患者さんがいました。整形外科としてはこのヘルニアが原因だろうということで手術を計画されましたが、実はMRIには坐骨神経を巻き込む

ような形で腫瘍が存在していました。手術前日にたまたま放射線科医（私）が目を通す機会があり、腫瘍を認識することができました。結果的には尿管癌が坐骨神経を浸潤して痛みが出ていたということでした。一般的には椎間板や骨などに病変があるのですが、その事例では想定外の所見から判明したということで、手術は行わず腫瘍に対する治療を開始したとのことでした。日常診療でそのようなケースはほとんどありませんが、そうした点でお手伝いできればと思って日々、画像を見ています。

画像診断の能力を向上するには

私はまだまだ勉強中の身なので、そのようなことはありませんが、ベテランの先生方には、自然と異常が目に入ってくるということがあるそうです。異常なのか正常なのか、その振り分けが難しいと思いつながら診療に当たっています。画像的には異常に見えるけれども患者さんにとっては無症状ということが整形外科領域では多いので、「異常である」と断言する読影レポートをお返しすると、臨床とのバランスがとりづ

2

画像から読み解けること

超音波画像の活用と今後の見通し

稲見崇孝

慶應義塾大学体育研究所 専任講師

骨格筋の研究

骨格筋を研究対象とする場合、最終的なゴールをどこに設定するかによってアプローチは異なります。アスリートであればパフォーマンスへ、一般健常者であればヘルスプロモーションへ、ケガをした人であればまずは復帰に向けたリハビリテーションへと、そのゴールが設定されるかと思えます。近年、ゴールへ到達するためのアプローチは多様化をみせ、異なる領域とのコラボレーションも増えてきました。現在、私たちの研究室では、骨格筋を機能、形態、質（以上3つは骨格筋3特性）、生化学の視点から研究しており、宇宙科学領域とのコラボレーション成果も取り入れながら、主にアスリートのハイパフォーマンスや中高齢者のヘルスプロモーションに関する取り組みを進めています。その中心的な枠割を担っているのが本日のテーマでもある超音波画像装置です。骨格筋の機能、形態、質という3特性の観点から俯瞰的に紹介していきます。

まず、骨格筋の機能です。機能を評価する際、一般的には筋力や筋電図による筋活動測定などが行われ、広義にはYo-Yoテストや椅子からの立ち上がりテストなどのパフォーマンステストが行われることもあるかと思えます。機能評価は形態評価と多くの関係を有することが報告されています。一方、形態を評価するためには、MRIやCT、3次元足型解析、BLS（Body Line Scanner）、メジャー計測などが用い

られます。BIA（インピーダンス法）を用いた身体組成も多くの情報を提供してくれます。では超音波画像装置には、これらと異なる点としてどういった特徴があるのでしょうか。少々基本的なことになりますが、要点をまとめておきましょう。

超音波画像でわかること

超音波画像からは筋の形や量、走行などを理解することができますが、プローブをどのように操作するかによって描出されてくるものが変わってきます。筋線維の走行に対してプローブを長軸方向に操作する場合と、長軸方向と直交するように（短軸や横向きという）操作する場合の2つがあります。短軸操作での撮像は輪切りにしたようなイメージで、筋の量や厚みを調べることに向いています。一方、長軸操作での撮像は筋の形態はもちろん、機能や性質を調べるうえでも有用です。上述の骨格筋機能評価と関係しますが、筋線維が筋（腱）膜に付着する角度（羽状角）や長さ（筋線維長）などを解析することによって、あなたは短距離走に向いているとか、パワー系で高いパフォーマンスが発揮できる、ということがある程度類推できる研究も行われています。

MR装置は長軸にも短軸にも組織を画像化することができ、体表面から深い組織の撮像も得意としますが、超音波装置はMR装置と比べ比較的浅い組織を観察することになります。（一般的な）MRやCT装置は静止状態での撮像、つまり静止画像を取得する一方で、超音波画像装置は、筋や関節を動かしながら観察、動的評価ができるという大きな長所があります。生体内での組織厚や筋収縮時の変化をほぼリアルタイム



稲見崇孝（いなみ・たかゆき）

に観察できる点に魅力が詰まっています。筋ではないですが、等尺性収縮中の腱や腱膜は5～6%伸びているようです（つまりは筋束の短縮）。生体内のふるまいがリアルタイムに観察できる点は本当に興味深いです。また、超音波画像は、MR画像よりも浅い組織を描出しやすい特徴があるため、体表面へプローブを押し当てる、という何気ない動作でも、よくよく観察すると生体内では皮下脂肪の層はほとんど動いておらず筋が押し込まれていることがわかります。目視ではわからないことを、診察や問診、場合によってMRやCT画像にて診断する場面をよく目にしますが、これに超音波画像装置を使った動的な評価を加えることで、機能的な要素（たとえば、関節を動かした際の組織滑走の程度を健患比較する）が加わり、一歩踏み込んだリハビリ戦略やパフォーマンス向上のための方策立案に貢献します。

超音波画像における進歩

最近では、体表面上を滑らせるようプ

ローブを動かすことで超音波の連続画像を得ることができる機種もあります。これはスマートフォンの「パノラマ」機能（カメラをパンさせながら合成していく）のようなもので、論文では Extended Field of View (EFOV) やパノラマ画像などと呼ばれます（メーカーによって名称が異なります）。たとえば上腕二頭筋の連続画像を撮像する際、筋の走行に沿うようプローブを長軸（縦）に操作し、起死から停止（もしくはその逆）へ向けてプローブをゆっくりと滑らせていくと図1のような画像が得られます。反対に、走行に対し直角（短軸操作）方向、横方向にプローブを滑らせるとMRでよく見られる輪切りのような画像を得ることもできます。人体という、丸みの多い組織の一部分だけを2次元的に切り抜いた画像ですが、より鮮明に観察できるようになってきています。この連続画像は超音波研究全体の歴史から紐解くと近年発展してきた技術の1つです。

ダンベルエクササイズを繰り返し行った際、上腕二頭筋や上腕筋などの肘屈筋群にはダメージが生じます。そういったときに筋内部はどうなっているかを観察すると、通常は図1中央の縦に示した実線幅でしか観察することができませんが、連続画像では広い範囲を網羅できます。図1上段R（右腕）はコンセントリックエクササイズを、L（左腕）はエキセントリックエクササイズを行ったあとの画像です。図1下段の上腕筋内に輝度が高く、白く描出されている部分があるので、この画像から上腕筋に何かが起こった、ということがわかります。エクササイズに生じた輝度変化がどこからどの範囲で生じているか、を見てとれるわけです。

輝度の変化がなぜ起こるのかについては、水分量の変化が理由の1つとして考えられていますが、エクササイズによる違いの解明についてはこれから詳しく調査されていくことになるかと思えます。この輝度変化は、高齢者におけるサルコペニアやフレイルの評価にも有効とされており、

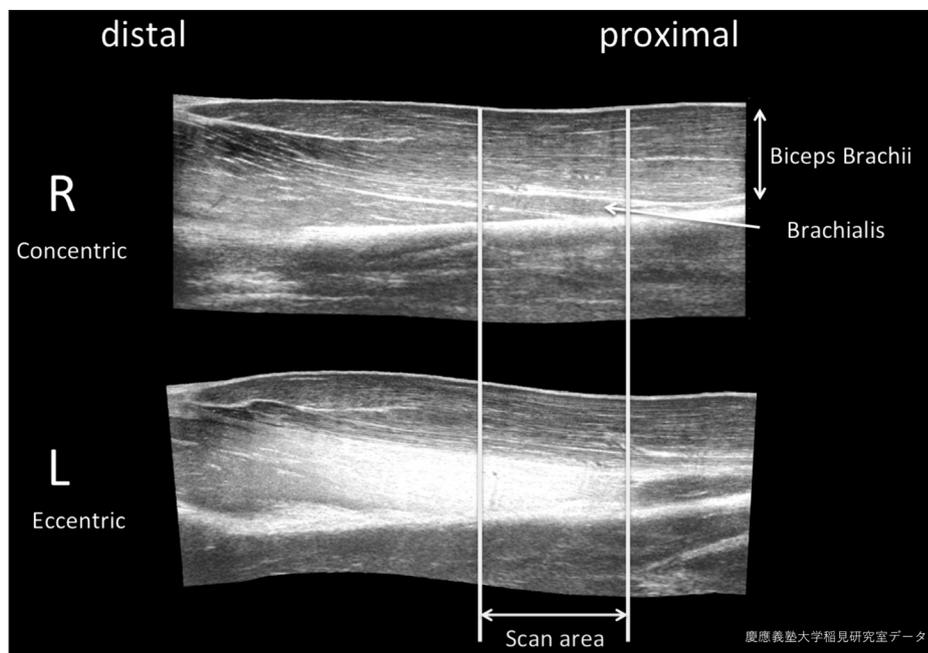


図1

日本サルコペニア・フレイル学会が策定するガイドラインにも輝度評価の有用性が述べられています。ただし、英語では「muscle quality」と呼ばれていて、スポーツ科学の中で呼ばれる「質」とは概念が少し異なる、もしくはオーバーラップした概念があると思います（硬さや材質を意図した使われ方、後述）。トレーニングで輝度は変わるのか、変わった輝度は何と関係するのか、という解明が進んでいくとより明確な区別が叶うことでしょう。少なくとも muscle quality が当該領域では指標の1つとして重要になりつつあることは間違いありません。

一方、スポーツ科学の領域において、この「質」にあたるものは hardness や stiffness といった言葉で表されることが多く、つまり筋の硬さを評価するものとして取り扱われます。そして、超音波画像装置におけるその他の進歩として、近年、筋の硬さを評価する超音波エラストグラフィの利用が拡大しています。様々な研究が精力的に発信されており、フランスや日本などが業界をリードしている現状があります。

「筋の硬さ」とは何か

筋の硬さの定義について考えてみると、少々曖昧さがあります。筋の硬さを表す言葉を集めてみると、日本語では「筋硬度」「硬さ」「こわばり」「はり」と呼んだりします。英語では先ほど挙げた「hardness」「stiffness」のほか、「tightness」「tension」「tone」などがあります。超音波エラストグラフィははじめ当該領域の論文では「stiffness」や「hardness」の記載が多いようです。「hardness」は、古くから皮膚上を押したり・触ったり、筋硬度計のように体表面から機器を押し当てたりして測定するもの、つまり垂直方向に対する反発力と認識されています。つまり、触診によって感じる「筋肉が張っていますね」と表現されるものはここに含まれることが多いと思います。一方で「stiffness」というのは、起始-停止の距離を遠ざけるように筋を伸張させていくときの抵抗というように私たちの研究室では考えています。整理しますと、日本語での「筋硬度」や「硬さ」は英語での「hardness」「tone」に当てはまるでしょうし、「こわばり」「はり」は「stiffness」「tightness」「tension」に当てはまってきます（しかし「肩こり」をど

ここに位置づけるかは結果として大変難しい問題です)。

ハイパフォーマンスやヘルスプロモーションを追求するうえで、上述のように筋を機能、形態、質の3つの視点から捉えてみると、握力や筋電図などで測定されてきた機能、超音波やMRなどで測定されてきた形態の2つは古くから研究が行われてきました。しかし、質に関する研究は分野としてまだ新しく、超音波エラストグラフィの開発や輝度評価技術の向上によって質にフォーカスが当たり始めたことなども手伝って、パラダイムが大きくシフトしています。超音波エラストグラフィを例にとってみても、従来は筋硬度計を使用して体表面から機器を押し込んで測定せざるを得なかったわけですが(簡易型の市販機器ではそれでも押し込む量が十分ではない)、脂肪の影響も筋膜の影響も受けてしまう課題が指摘されていました。ところが、超音波エラストグラフィは画像上で解析を行う過程で脂肪を除いた関心領域のみの硬さ評価が可能となり、上記の課題がクリアされるようになりました。今後はこのような手法が主流となっていくと私は考えています。超音波エラストグラフィにも原理原則の異なる幾つかの手法がありますが、「hardness」測定と相性のよいstrainタイプと、「stiffness」を計測するshear waveタイプの2つが多く用いられています。それぞれに特徴を有していますが、いずれのタイプも画像上で評価を行うものです。

いくつかの報告によれば、筋や腱などの組織の質の変化は、形態が変化する前に生じ、筋の形態的变化、すなわち筋量やサイズの減少は神経性ドライブの減少をとまないうが筋力をはじめとする筋機能低下と関係することがわかっています。したがって、筋の機能、形態、質の3特性については三者三様に独立してはいるのですが、これらには相互関係があり、筋の硬さという質を測定することは“質→形態→機能”の戦略で起こる運動器の多様な変

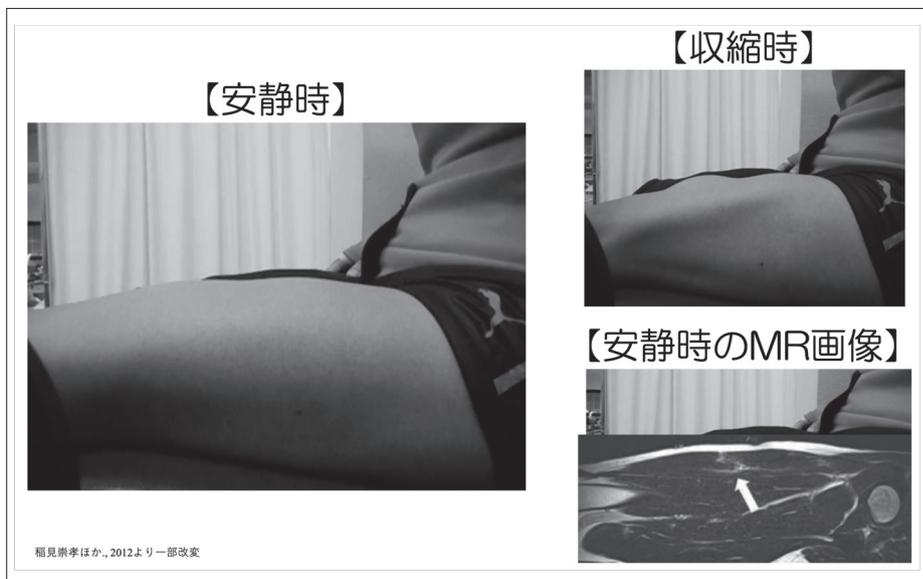


図2

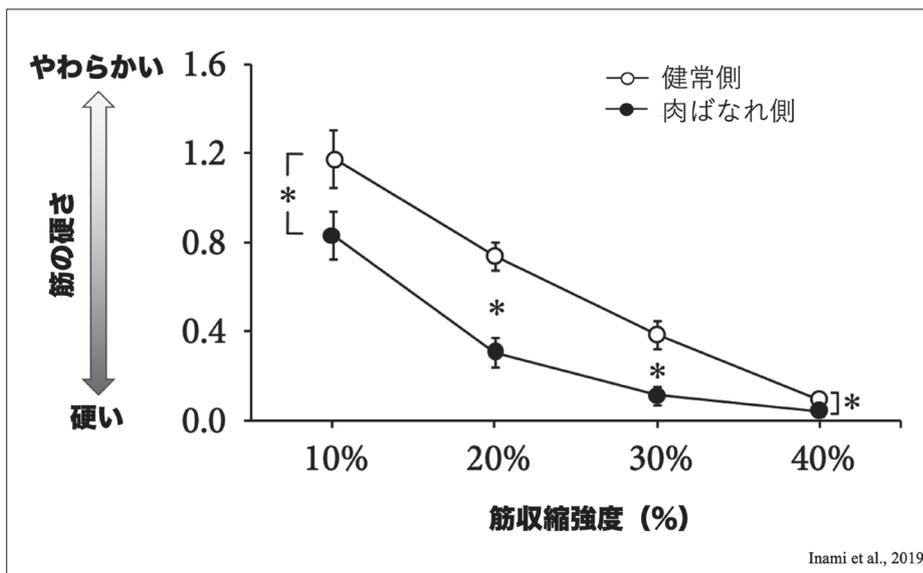


図3

化を早期に捉える起点となります。相互関係の一例を挙げると、縦軸(y軸)を筋の硬さ、横軸(x軸)を筋力発揮の強度としてグラフを作ると、両者の間にはほぼ直線の関係が示されます。つまり、筋を20%硬くできるということは、強い力を20%出せるということになり、上記の戦略を俯瞰的に検証する際に役立ちます。スポーツ医科学関連以外の研究領域、たとえば口腔機能関係の領域では、舌の機能評価にこの直線関係が応用されているようです。

次にお見せしたいのが10年前に大腿部前面に肉ばなれを呈した方の画像です(図2)。図2左の安静時にはあまり気になりませんが、図2右上段の筋収縮時には、体表面に大きな陥凹が確認できます。この直下に肉ばなれが生じたかと本人は感じていたわけなのですが、図2右下段のMR画像では瘢痕化した組織は損傷部位の直下ではなく、やや遠位にあることがわかります。このような過去に肉ばなれ(Ⅱ度)を呈した方のデータを集め健常側と比較していくと、先に述べた筋収縮中の硬さと筋力