

超音波エラストグラフィ 「Aixplorer」の 臨床応用

～最新のシアウェーブ・エラストグラフィが
スポーツ医学のその先を切り拓く

順天堂大学医学部附属浦安病院
整形外科

糸魚川善昭先生

Aixplorer



超音波エラストグラフィ「Aixplorer」の臨床応用

～最新のシアウェーブ・エラストグラフィがスポーツ医学のその先を切り拓く

筋肉や腱の“硬さ”を圧迫せずに見ることができるシアウェーブ・エラストグラフィは、整形外科の領域でも注目を浴びている。

順天堂大学医学部附属浦安病院では、最新のシアウェーブ・エラストグラフィが搭載された超音波診断装置「Aixplorer」を昨年11月に導入した。

米国でエラストグラフィの研究を行っていた、同院整形外科の糸魚川善昭氏は、このAixplorerを使って新たなデータの収集と検討を進めている。

本記事では糸魚川氏に、Aixplorerの臨床での有用性と研究、今後の展望について語っていただいた。

——まず順天堂大学医学部附属浦安病院の特長をお聞かせください。

当院は、大学病院とは少し異なる分院という形ですが、大学病院と市中病院、いわゆる総合病院の中間ぐらいの役割を担っています。大学病院の使命は臨床、つまり患者さんの診察のほかに、教育、すなわち研修医の先生を教育すること、それと研究という、3本の柱があります。研究に関しては、今回お話するシアウェーブ・エラストグラフィを導入し整形外科領域における“硬さ”を調べたり、環境学研究所で遺伝子の解析や癌の研究などを行っています。

整形外科は常勤が約20人ほどいます

が、それぞれに専門分野があります。私は肩関節ですが、ほかに膝、脊椎、手、股関節、骨折外傷という専門分野が整形外科領域にはあり、医師ごとにそれぞれ専門分野を持っており、整形外科のほとんどの部分を網羅しています。強いて言えば、順天堂大学はスポーツ医学が有名なので、スポーツ障害が起こりやすい膝関節や肩関節などが得意分野ではありません。これが当院の特長と言えるでしょう。

——米国に留学されていたそうですが、主にこういった研究をされていたのでしょうか。

ミネソタ州にあるメイヨークリニック

に留学していました。バイオメカニクスラボがあり、そこでエラストグラフィの研究をしました。そのほか、手術のときに靱帯をどこに縫うのがよいのかなど、バイオメカニクスについて、新鮮死体を使って研究していました。これは日米の死生観や法律の違いにより、日本ではほとんどの施設でできません。米国では、死体は魂の抜け殻にすぎないという考え方があり、このような研究を可能にしているようです。やり方としては、死体を膝、肩などの部位ごとに冷凍しておきます。解凍後数日間は軟らかいので、それを若い医師の手術の練習や研究に用います。靱帯をAとBのどちらに縫うのがよいかや、腱板をぐっと引っ張ると、筋や



順天堂大学医学部附属浦安病院

所在地：千葉県浦安市富岡2丁目1-1

TEL:047-353-3111

URL: <http://www.hosp-urayasu.juntendo.ac.jp/>

診療部門：総合診療科、消化器内科、呼吸器内科、腎・高血圧内科、膠原病・リウマチ内科、血液内科、糖尿病・内分泌内科、メンタルクリニック、ハートセンター、循環器内科、心臓血管外科、脳神経・脳卒中センター、脳神経内科、脳神経外科、こども救急センター、小児科、小児外科、外科、呼吸器外科、整形外科、産婦人科、皮膚科、形成外科・美容外科、泌尿器科、眼科、耳鼻咽喉科、放射線科、麻酔科（ペインクリニック）、リハビリテーション科、女性専用クリニック、女性アスリート外来、救急診療科

中央診療部門：がん治療センター、血液浄化センター、中央手術室、臨床工学会、感染対策室、GCPセンター（治験）、医療プロジェクト室

診療支援部門：薬剤科、臨床検査医学科（検査科）、栄養科、医療安全管理室、患者・看護相談室、医療福祉相談室、看護支援室、地域医療連携室、診療録管理室

順天堂大学医学部附属浦安病院
整形外科

糸魚川善昭先生



Aixplorer

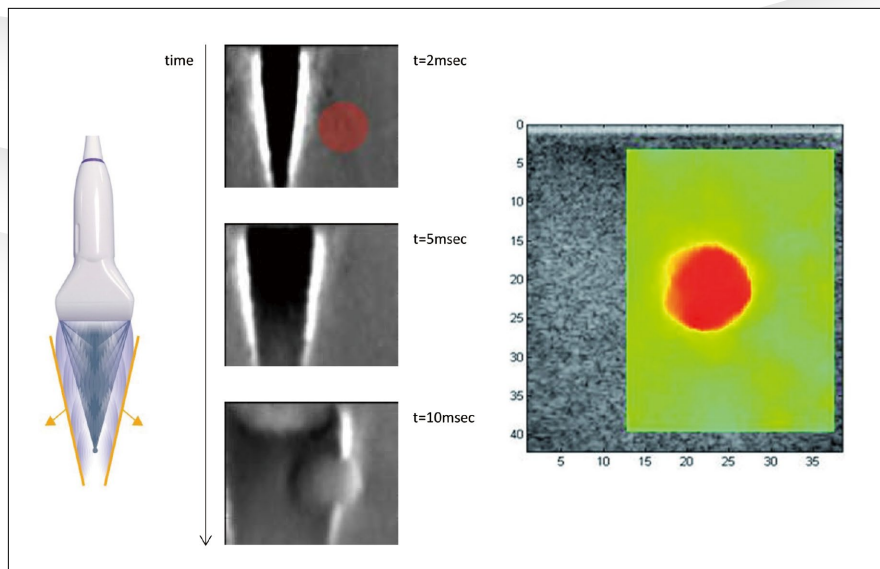


図1 Aixplorerにおける、剪断波の発生とマッピング表示

Aixplorerは、深さ方向に短時間で送信焦点を移動させることにより、効率よく剪断波を発生でき、結果として、フレームレートを上げることができる(a)。剪断波の伝播速度を硬さに変換しカラーコード化して表示する(b)。

a | b

腱の伸張性がわかるのですが、その伸張性とエラストグラフィから得られる値を相関することができないかなどを調べていました。画像上、筋繊維が平行になるようにしないといけないので、解剖学を勉強し、筋の繊維はどうなっているかという方法論もまず確立しました。

10～15人の検査が必要になる日もあります。しかし1台で10～15人の検査を行うことは難しく、さらに複数の医師が使うので、予定が重なることもあります。もともと新しい超音波診断装置を入れたという希望があった状況のときに、ちょうど私が赴任しました。このような素晴らしい装置があると紹介したところ、

せっかくだから特徴のある装置を導入しようということで話が進みました。

——やはりシアウェーブ機能がある点(図1)が大きかったのでしょうか。

そうです。さらに、以前の装置では200キロパスカル程度でしか測定できませんでしたが、こちらは800キロパスカルまで測ることができます。つまりこの装置の導入前までは、筋肉しか硬さを測定できなかったのが、800キロパスカルでは、腱や靱帯まで測定可能になりました(図2)。私が米国に留学していた当時は、筋肉しか測定できませんでしたが、今では腱や靱帯に焦点を当てた研究もされています。

——圧迫による病変部位の歪みの様子を計測するストレイン・エラストグラフィと、シアウェーブの違いというのはどこでしょう。

全然違います。ストレインタイプは圧迫するので、かなりバイアスがあります。何よりも筋肉や腱では、こちらの方には柔軟性があるが、別の方向の引っ張りには非常に硬いなど、硬さの性質が微妙

同院で「Aixplorer」を導入、研究を進める

帰国後、昨年の11月にAixplorerを導入してからまだ期間が短く、検討中の段階ですが、いくつか面白いデータも出ています。臨床面では、腱板の引っ張りに関して、おおむね留学中に行っていた研究の通りであるという印象はあります。

——こちらで「Aixplorer」を導入するきっかけは何だったのでしょうか。

一番の理由は、当科には超音波診断装置が1台しかなかったことです。1日1例しか超音波診断をしない日がある一方で、



図2 Aixplorerによる肩の検査風景

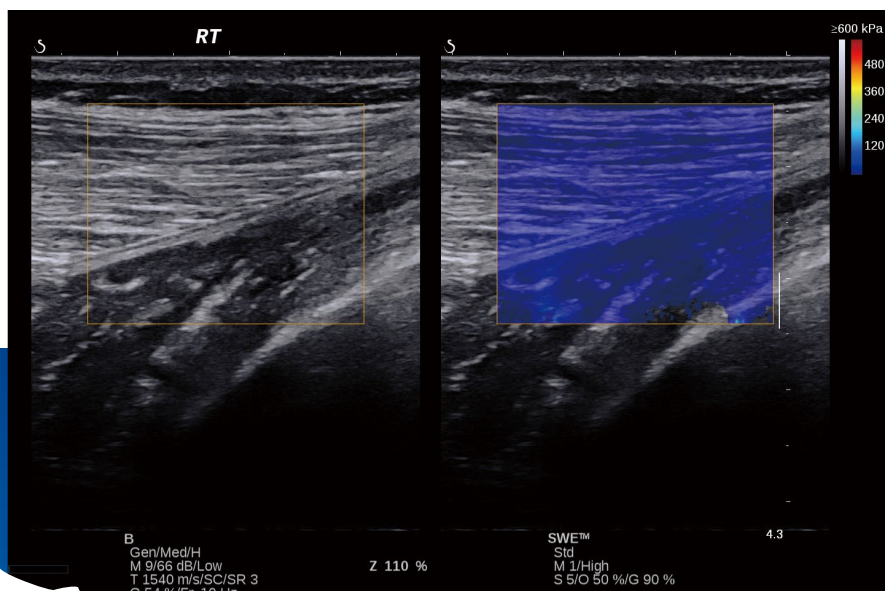
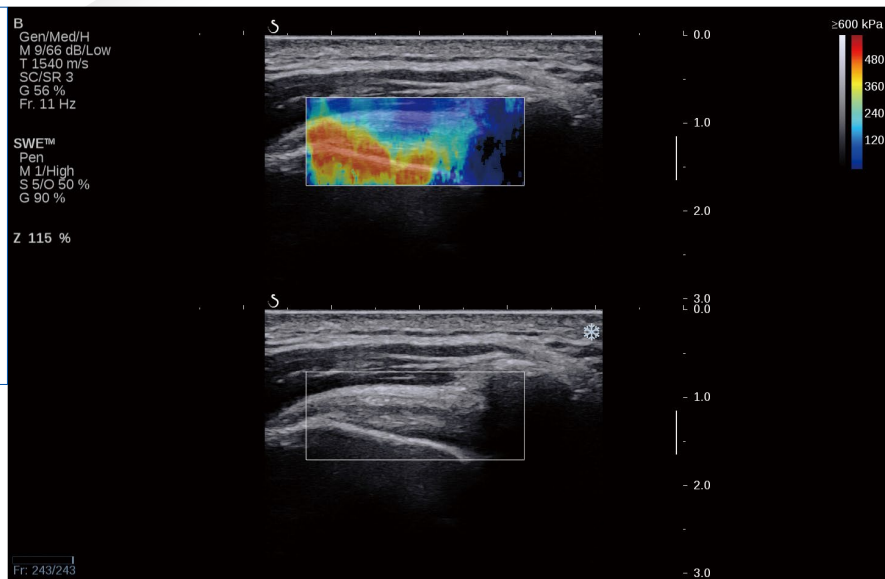
最新のシアウェーブ・エラストグラフィを搭載し、腱や靱帯の硬さの測定も可能になった。

Aixplorer

シアウェーブ・エラストグラフィで見える各部位の筋の硬さ

肩 ▶ 棘上筋腱

腱板の中でも、特にこの棘上筋腱は構造的に損傷を起こしやすく、強い肩痛の原因となりやすい。右図下が通常のBモード超音波画像、右図上が下図と一致した超音波画像とエラストグラム。白枠の範囲で硬さを計測できる。赤いほど硬く、青いほど柔らかい。大結節に付着する白枠中央の腱が棘上筋腱であり、腱線維が画像上平行に描出され棘上筋腱の硬さの計測が可能となっている。



下腿 ▶ 腓腹筋内側頭

いわゆるふくらはぎの筋肉。肉離れを起こしやすい。上図左が通常のBモード超音波画像、上図右が左図と一致した超音波画像とエラストグラム。黄色枠内で硬さを計測できる。黄色枠内上方が腓腹筋内側頭、画像中央右上から左下に斜めに走行するのが腱膜である。腓腹筋内側頭の筋線維が画像上平行に描出されており計測が可能となっている。

に異なります。縦に圧迫する硬さと、縦とは反対に水平方向に引っ張る力の硬さは物体によって違うのです。我々が見たいのは、筋肉が押されたときの硬さ・軟らかさではなく、筋肉が引っ張られたときの硬さ・軟らかさです。要は縦軸の硬さではなく、横軸の硬さを見たいのです。

組織内に発生させた 剪断波の伝播速度を測定。 「横方向」の硬さを見ることが できるシアウェーブ

この縦に軟らかいか硬いかではなく、横に軟らかいか硬いかを見ることができなのが、シアウェーブの特長です。筋の突っ張り、緊張性を見ることができる。これはストレインタイプでは見ることができません。ここが最大の違いですね。

シアウェーブは剪断波を拾ってその速度を見るので、横軸の硬さがわかります。筋肉の1本1本の伸張性、伸びをシアウェーブで拾うことができます。

ただ、そのためには腱や筋線維を水平に描出するエコー技術も必要になります。プローブの微妙な角度で描出が変わってきてしまうので、解剖学が頭に入っていないと、うまく描出できません。今後、プローブの角度が何度ぐらいなら許容範囲なのかという点も調べていかなくてはなりません。

——整形外科領域でAixplorerに特に求めている点はどこでしょう。

整形外科で一番初めに行う検査はX線検査です。しかしこれでは軟部組織がほとんど見えません。これまで整形外科では骨を中心に診断をするのが主流でしたが、超音波の技術が向上し、X線では見えない軟部組織、筋肉、腱などが見えるようになりました。軟部組織の評価ができるという点が大きいです。具体的に言えば、手の外科や肩関節といったスポーツ筋肉の障害の評価になります。

例えば、筋が切れていることは通常の超音波で見えますが、その筋や腱のクオリティがどうなっているかは見えません。普通の超音波画像やMRI画像では見えない点を、エラストグラフィで硬度、つまり硬さを見ることで評価できないかと思

っています。

肩こりの硬さも 評価可能になる

また、臨床で代表的な症状として、肩こりがあります。しかし、X線で見て問題がないと、「上手に付き合っていきましょう」という話になる。どれぐらい硬いのかは普通のX線や超音波ではわかりません。そういう症例において、エラストグラフィで実際にどのぐらい硬くなっているのかを見ていきます。今はまだ肩こりの検査は行ってはいないのですが、将来的にはやっていきたいと考えています。また、メイヨークリニックでは超音波ラボの先生とやり取りをすることが多かったのですが、やはりその先生方も肩こりの研究をしていました。

——臨床では、主にどういった症例のときに使用されていますか。

私自身、当院では肩の症例が専門なので、肩関節についての説明になりますが、術前に使用します。肩関節の手術の9割程度は内視鏡で手術しますが、切れた腱をつなぐ際に、どのくらい筋や腱を引っ張り出せるかという情報が必要になります。術前MRIで筋肉の脂肪変性を見ての評価も行いますが、筋肉ではなく脂肪の量で硬いか柔らかいかを判断せねばなりません。そうすると、やはり相関しないので、筋に焦点を当てた術前検査が望まれます。現在は、腱板断裂という肩の部分の腱の手術をやる前に、エラストグラフィで筋肉や腱の硬さを測って、手術中にどのくらい引っ張り出せるかを予測しています。

膝の靱帯の再建術に使う腱の場合、再建後に腱が伸びてしまうと困ります。術前にこの腱の伸張性のクオリティを測定できないかも検討中です。

手の専門医が、神経の周りの脂肪などをシアウェーブで見ることもあります。もちろん筋や腱だけでなく、神経や周辺の脂肪の硬さなどもわかります。外傷を扱う医師が血管を見るときもあります。

術前評価以外に、研究分野になります。修復した腱板の変化、筋肉がどうなっているかの評価も検討中で、術後を1ヶ月ごとに追跡しています。スポーツ中

に生じるいわゆる肉離れについても、通常の画像診断では問題ないが違和感を覚える、というような場合の復帰時期を評価するための研究を大学院生が実施しています。

将来的には 軟骨に応用したい

また将来的には、軟骨に使えると、面白いだろうと思っています。若いスポーツ選手では、使い過ぎで軟骨が壊れてしまう場合がありますが、壊れる前に1回、軟骨が軟らかくなります。その評価ができればと考えています。また骨から軟骨になるところでは、ハレーションを起こして正確な値が出ないことがあるので、その点の評価が必要です。より検討が必要な研究分野と言えます。

——エラストグラフィ以外に、先生はどのような研究をされていますか。

解剖学もやっています。私自身、実験室での研究よりも、明日からの臨床にすぐ直結するもの、シアウェーブ・エラストグラフィのように、何か発見すれば明日からの臨床に使えるという分野が好きです。解剖学では、順天堂大学の解剖学教室に通って正確な筋肉の走行を見るほか、臨床解剖研究も行っています。

五十肩もテーマにしています。靱帯の



図3 Aixplorerの全体図

老化の指標に酸化ストレスというものがあるのですが、それが肩の腱板、いわゆる五十肩と関係があるのかどうかを、調べています。動物実験を終え、倫理委員会を通して実際の患者さんに組織を提供していただいています。

——五十肩というのは肩関節外科の患者さんに多いのでしょうか。

順天堂大学はスポーツ医学で有名ですので、肩関節外科で多いのは、いわゆる野球肩や肩の脱臼などのスポーツ障害ですが、それよりもはるかに多いのが、五十肩です。普通の五十肩は自然に治りますが、中に腱板断裂の場合があります。アスリートの運動でのオーバーユースが原因のこともあります。50代以上の中高年以上の方が、いわゆる老化で切れてしまうことが多いです。転倒など外傷で切れてしまうこともあります。あとはやはり、もともと変性していたものが自然に切れてしまう「変性断裂」が主な切れ方です。その場合、自然に痛みがとれることがほとんどですが、夜中に眠れないくらいの痛みが出る人もいて、そういう例では手術が必要となります。ほとんどが内視鏡での手術になります。この手術成績を上げるために、先述の通り、エラストグラフィを使って術前に評価を行っています。さらにその先の問題としては、術後に再び腱板が切れてしまう症例がたまにあるということです。現在、どれくらいの硬さであれば、そのようなこ

とが起きるのかわかるとよいと考えて、修復した腱板や筋肉の変化を1ヶ月ごとに追っています。

——Aixplorerの操作性、使い勝手はいかがでしょう。

操作は非常にシンプルです。やはりシンプルなのが一番です。昔のパソコンのように、ほとんどボタンがありません。キーボードのようにボタンがたくさんあったら、私には使いきれていないと思います（図4）。

また、画像呼び出し機能というのがあり、患者のデータを呼び出し再測定をしたり、色合いを変えることもできます。ほかの特長として、例えば今見たいと思うところを何力所か選んで、その平均値を出すこともできます。また、すごい点は、タッチペンで、見たいところをトレースできることです。さらに、Aixplorer自体の画質が非常にきれいです。臨床でも全く問題なく使用できています。

——Aixplorerを初めとする超音波診断装置に今後期待されるのは、どんな点でしょう。

数値が出るという点に期待しています。これまでは画像を撮って、これは切れている、壊れていると判断していたのが、エラストグラフィは数字で出ます。しかし、血液検査などでは、ヘモグロビンだ



ったらこの範囲、白血球ならこの範囲という正常値があります。ところが、エラストグラフィでの正常値がまだわかっていません。

数値が出るのが強みな一方、その数値が的確な数値なのかどうか判断できないのが現状です。例えば、五十肩と一口に言っても、筋が硬いのか、靱帯が硬いのか、関節の袋が硬いのか、どこが硬いのかかわらないのです。MRIをとっても、全く正常で、どこが問題なのかかわからない。そういう“硬さ”を、エラストグラフィで測れたらよいと思っています。

そのためにまず必要なのは、それぞれの腱や筋の正常値を知ることです。同じ人でも、体の左右で実は硬さが微妙に違ってきます。まず全身の正常値を調べて、そこから例えば400キロパスカルの範囲なら正常であるとか、正常値を超えていてもリハビリ中なら設定を低くするということのようなことができれば、広く使われるようになって期待しています。年齢ごと、職業ごとの正常値や男女差も知りたいと思っています。

超音波をリハビリの指標に

また、整形領域では、リハビリの指標に使える点が期待されています。これが一番大きいと思われます。X線の場合、使うには医師や診療放射線技師という資格が必要ですが、超音波は誰でも使えるので、理学療法士が自分で評価することができます。医師に対して、「リハビリでこれだけよくなりました」と、数値で報告できるようになれば、夢のようだと思います。

数値による評価、そしてリハビリの指標に用いるという、この2つがAixplorerの今後の展望だと考えています。



図4 Aixplorerのパネル・モニター

ボタンが少なくシンプルな操作で多彩な機能を呼び出すことができる。付属のタッチペンを用いて、モニター上の任意の場所を直接選び、平均値を求めることも可能だ。

超音波エラストグラフィ
「Aixplorer」の
臨床応用

～最新のシアウェーブ・エラストグラフィが
スポーツ医学のその先を切り拓く

Aixplorer