

運動器

- 骨と超音波 1 - 診断から治療まで -
93-運-001 - 005
- 運動器における超音波せん断波
エラストグラフィ 93-運-006 - 012
- 腱・神経評価 93-運-013 - 017
- 骨と超音波 2 - 診断から治療まで -
93-運-018 - 020
- 運動器超音波のニーズとシーズ
93-運-021 - 029
- 運動器におけるせん断波計測, 骨評価
93-運P-001 - 006
- 超音波ガイド下治療・診断 93-運P-007 - 009

93-運-003

超音波を用いた皮質骨骨質評価の有用性検討

末利 良一¹, 新井 竜雄¹, 千葉 恒², 尾崎 誠², 楊 鴻生³¹古野電気 技術研究所, ²長崎大学病院 整形外科, ³フェニックス加古川記念病院 整形外科

【目的】

従来の超音波骨密度測定装置は、踵骨を測定部位として超音波が海綿骨中を伝搬する速度SOS(Speed of Sound)から骨密度を評価している。一方、QOLを著しく低下させる大腿骨頸部骨折は皮質骨の破綻によって生じる。そこで我々は脛骨や橈骨を測定部位とし、超音波が皮質骨の長軸方向に伝搬する速度cSOS(cortical Speed of Sound)を非侵襲的に測定する装置を開発した。本装置の中心周波数は3MHzで、cSOSが極力皮質骨厚みの影響を受けずに材質特性を評価することを特徴としている。

本研究では、cSOSが皮質骨のどのような構造・材質因子を反映しているかを、四肢用高分解能CTであるHR-pQCTを用いて検証した。加えて、臨床的有用性を検討するために、若年健常者、高齢者、また皮質骨が劣化することで知られている透析患者を対象にデータ収集を行った。

【方法】

33～73歳の被験者19名に対して、開発装置で皮質骨音速(cSOS)を、HR-pQCTで皮質骨指標(皮質骨厚みCo.Th, 皮質骨多孔性Ct.Po, 皮質骨ミネラル密度Ct.TMD)を、DXAで腰椎・大腿骨BMDを測定し、相関分析を行った。

また若年健常者91人(男性47人, 女性44人), 骨粗鬆症薬を服用していない高齢者64人(男性30人, 女性34人), 透析患者65人(男性

33人, 女性32人)を測定対象とし、脛骨の骨質指標cSOSと従来装置で骨密度を測定し、各群間の比較を行った。

【結果, 考察】

皮質骨音速(cSOS)は脛骨、橈骨ともにHR-pQCTのCt.TMDと強い相関が見られた。橈骨においてはcSOSとCt.Poと負相関が見られた。またcSOSと皮質骨厚みCt.Th間には相関がなく、DXA BMD間にも相関が見られなかった。すなわちcSOSは骨量とは独立した指標で、皮質骨のミネラル微細構造を反映していることを示している。

また男性の骨質指標cSOSは、若年群と高齢群で差が見られなかった。一方、女性のcSOSは、若年群に対して高齢群で有意に低値を示した。透析群のcSOSは男女共に若年者に対して有意な低下が確認された。また透析歴とcSOSに負相関が見られた。閉経後女性と透析患者に見られたcSOS低下は、骨ミネラル代謝異常による皮質骨骨質劣化を捉えたものと考察される。

【結論】

皮質骨音速cSOSは、皮質骨の石灰化や多孔性といったミネラル微細構造に起因する骨質因子と関係することが明らかになった。加えて、閉経後女性や透析患者に顕著なcSOS低下が見られ、骨密度とは独立した骨質劣化を評価するための有用な手法となり得る。

Validity study about assessment of cortical bone quality using ultrasound

Ryoichi SUETOSHI¹, Tatsuo ARAI¹, Ko CHIBA², Makoto OSAKI², Kosei YOH³¹Research and Innovation Center, Furuno Electric Co., Ltd., ²Department of Orthopedic Surgery, Nagasaki University Hospital, ³Department of Orthopedic Surgery, Phoenix Kakogawa Memorial Hospital

93-運-004

機械学習と音響シミュレーション技術を用いた二次元超音波イメージングの試み

長谷 芳樹¹, 奥村 成皓², 武 淑嬢³¹ピクシーダストテクノロジーズ 研究開発部, ²マリ 研究開発本部, ³京都大学 大学院情報学研究所

【目的】

超音波による2次元イメージングはビームフォーミング技術を活用することで多くの分野で広く用いられているが、特に音響インピーダンスの比が大きな境界面の後方などではアーチファクトおよびノイズの影響が大きく、正確かつノイズの少ない画像を得ることは未だ困難である。本研究では、近年高速・大容量化している計算機資源を活用し、多数の音波伝搬シミュレーションと機械学習を用いることで、音波の伝搬経路内のモデル形状を推定する手法を検討したので、結果について報告する。

【対象】

機械学習のためのデータセットとするため、96×128ピクセルの2次元形状モデルを40000個用意した。海綿骨の骨梁を簡易的に模して、長さ太さおよび角度を変えた長方形の反射体を図(c)に示すようにモデル内にランダムに配置した。骨梁以外の部分は水で満たした。このモデルに対し、上部の長辺側から平面波(正弦波1波分)を送波し、向かい合う下面にアレイ上に配置した64点で波形を記録するシミュレーションをおこなった。シミュレーションには2次元音響FDTD法(finite-difference time-domain method)を用いた。受波波形群の一例を図(a)に示す。

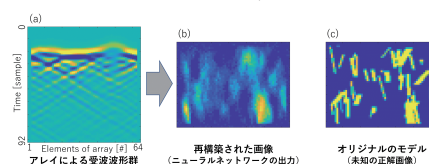
【方法】

機械学習には、画像処理等に広く用いられている畳み込みニューラ

ルネットワーク(CNN: convolutional neural network)を用いた。機械学習の入力信号は受波波形群をダウンサンプリングしたもの(図(a))、出力信号はシミュレーションに用いたモデルの形状の解像度を半分に落とした画像(図(c))とし、データセットのうちの95%(38000個)を用いて学習をおこなった。

【結果と考察】

結果の一例を図(b)に示す。これは、データセットの中で学習に用いていないデータ(残りの5%のうちの一つ)を用いて再構築した例である。図(a)に示す波形群を学習済みのネットワークに入力し、出力された画像が図(b)である。図より確認できる通り、未知のモデルでありながら、正解画像(c)と似通った位置に高密度の反射体が推定されていることがわかる。加えて、特筆すべき点として、高範囲に広がる反射体(画像右上と右下)に囲まれた部分(画像右側中央付近)の情報も得られていることが挙げられる。以上のように、現状では画像は未だクリアではないものの、本研究によって機械学習を用いた超音波イメージングの可能性が示唆された。



Pilot study of two-dimensional ultrasonic imaging using machine learning and acoustic simulation technique

Yoshiki NAGATANI¹, Shigeaki OKUMURA², Shuqiong WU³¹Research and Development Dept., Pixie Dust Technologies, Inc., ²R&D Dept., MaRI Co., Ltd., ³Graduate School of Informatics, Kyoto University

93-運-005

音響誘起電磁法によって測定されたラット骨粗鬆症モデルの大腿骨における圧電性の低下

小島 良績¹, 新実 信夫¹, 生嶋 健司², 矢部 裕³, 萩原 嘉廣³¹日本シグマックス 商品企画開発部, ²東京農工大学大学院 工学研究院 先端理工学部, ³東北大学大学院 医学系研究科 整形外科

【目的】

高齢化の進む日本では骨強度が脆弱化する骨粗鬆症の患者数が増加し、骨質は骨量と共に骨強度の決定因子として注目されている。骨質測定法として、赤外分光法やラマン分光法で骨を直接測定する方法や、骨質マーカーとして尿中ベントシジンをELISA法で測定する方法が報告されている。現在、骨質をスクリーニングする非侵襲かつ簡便な測定方法の開発が待たれている。

骨は圧電性を有することが知られている。Hydroxyapatiteは結晶対称性から圧電性が期待できないため、その起源は配向したコラーゲン線維の圧電性と考えられている。したがって、骨の圧電性はコラーゲンに起因する骨質評価の新たな指標になり得る可能性がある。近年、超音波照射（音圧）によって誘起される電磁信号を計測する手法（音響誘起電磁法：ASEM法）が開発され、骨やアキレス腱などの生体組織の圧電性を画像化することが可能になった。

本研究の目的は、膝関節不動化モデルラットと糖尿病モデルラットの大腿骨に対して、圧電性由来のASEM信号と骨粗鬆症との関連性を明らかにすることである。

【方法】

膝関節不動化モデルラットとしてSDラットを使用した。右膝関節を屈曲位150度で12週間固定し、固定しない左肢を健側とした。固定期間終了後に大腿骨を摘出し、マイクロCTで骨密度を測定し、遠位骨端部を凍結破砕し骨中ベントシジンを測定した。さらにASEM法による測定を実施

した。また、自然発症糖尿病モデルとしてGKラットを使用し、対照としてWistarラットを使用した。大腿骨を摘出し、マイクロCT測定を実施し、3点曲げ試験によって骨強度を測定した。さらにASEM測定を実施した。

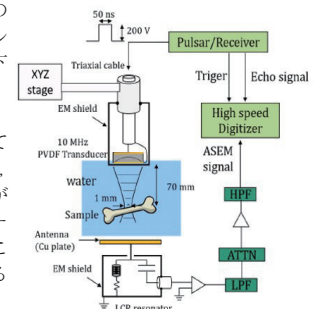
【結果】

まず、膝関節不動化モデルラットの患側において、健側と比較して、マイクロCTでは骨密度が有意に低下していることを確認した。骨中ベントシジン測定の結果、有意な差は認められないものの、患側でベントシジンの増加がみられた。この膝関節不動化モデルラットの患側でASEM信号が有意に低下した。

糖尿病モデルラットにおいてもマイクロCTにより骨密度の低下を確認し、さらに3点曲げ試験による骨強度の低下も確認した。この糖尿病モデルラットでもASEM信号は有意に低下した。

【考察】

2つの骨粗鬆症モデルにおいてASEM信号の有意な低下が見られ、ASEM信号と骨粗鬆症との関連性が示された。また、ASEM信号はコラーゲン線維の圧電性に起因していることから、骨質の変化を検出している可能性が示唆される。



Reduced piezoelectricity in femurs of rat osteoporosis models measured by acoustically stimulated electromagnetic method

Yoshitsugu KOJIMA¹, Nobuo NIIMI¹, Kenji IKUSHIMA², Yutaka YABE³, Yoshihiro HAGIWARA³¹Planning and Product Development Division, Nippon Sigma Co., Ltd., ²Division of Advanced Applied Physics, Tokyo University of Agriculture and Technology, Institute of Engineering, ³Department of Orthopaedic Surgery, Tohoku University Graduate School of Medicine

93-運-006

ウェアラブル超音波センサを用いた骨格筋の収縮特性の定量評価に関する検討

Elliot YEUNG¹, Ibrahim ALMOHIMEED^{1,2}, 小野 雄¹¹Department of Systems and Computer Engineering, Carleton University, ²Department of Medical Equipment Technology, Majmaah University

【目的】

超音波画像計測はその非侵襲性や無被爆、実時間での動画観察などから、骨格筋や靱帯、腱などの動的観察に広く用いられている。しかしながら軟部組織の厚さなどの定量計測においては、超音波プローブの重さやプローブ面の接触圧による軟部組織の変形等により、計測誤差が生じる場合がある。また、一般に測定は病院内や実験室内に限定される。本研究では、ウェアラブル超音波センサにより骨格筋の収縮による軟部組織の厚み変化を連続的に計測し、筋収縮特性の定量的評価の可能性に関して検討を行った。

【方法】

厚さ110μmの柔軟性のある圧電フッ化ビニリデン樹脂（polyvinylidene fluoride: PVDF）を用いて、ウェアラブル超音波センサを作成した。超音波の送受信領域となる電極サイズは20mm x 20mm、電極や保護フィルム等を含めた超音波センサ全体の厚さは約200μm、超音波の中心周波数は4MHzであった。超音波センサを健康者（男性、25歳）の上腕部に粘着テープにより固定した。超音波パルス送受信器（Model: DPR300, JSR Ultrasonics, Pittsford, NY, USA）を用いて、超音波センサをパルスエコー法により駆動した。上腕骨表面からの反射超音波の伝搬時間を測定することにより、超音波センサと上腕骨間の上腕筋を含む軟部組織の厚さを計測した。周期的な電気パルス刺激を上腕筋に加えることにより、非自発的な筋収縮を誘発した。電気パルスの繰り返し周波数を2Hz から16Hz まで2Hz 毎に変化させた。各周波数において刺激前の状態を含め各4秒間測定を行い、各周波数における軟部組織の連続的厚さ変化を求めた。

【結果】

計測された電気刺激前の軟部組織の厚さは21.6mmであった。パルス周波数2Hz 及び4Hzの電気刺激においては、筋収縮の後、ほぼ完全弛緩がみられる単収縮であった。2Hz における厚さ変化の平均極大値は0.39mmであった。6Hz以上においては、収縮の加重と部分的な弛緩がみられる不完全強縮が観察された。また、パルス周波数が大きくなるに従い収縮がさらに加重され、10Hz以上では完全強縮に近い状態が観察された。そこで、筋収縮特性を定量的に評価するために、各周波数において得られた厚さ計測結果から、Fusion Index (FI) を式：FI = a/b x 100 (%) より求めた1)。ここで、a及びbはそれぞれ各周波数の電気刺激時における厚さ変化の平均極小値及び平均極大値である。得られたFI値の周波数特性の近似曲線において、FI値が90%となる電気刺激パルス周波数は11.2Hzであった。FI値は電気刺激における強縮の程度（筋収縮の加重の程度）を表し、骨格筋線維タイプや筋疲労と関連していると考えられる。

【結言】

作成したウェアラブル超音波センサは柔軟かつ軽量といった特徴を有する。そのため、運動状況下や日常の活動下において計測対象の筋収縮を妨げることなく、その収縮特性の連続的計測の可能性が期待できる。今後は、ウェアラブル超音波センサを用いた筋の収縮速度、骨格筋線維タイプ及び筋疲労を定量的に評価する方法に関して検討を進める予定である。

【参考文献】

1) J. Celichowski and K. Grottel, "The relationship between fusion index and stimulation frequency in tetani of motor units in rat medial gastrocnemius," Arch Ital Biol, 133(2), pp. 81-87, 1995.

Quantitative Assessment of Skeletal Muscle Contractile Properties using Wearable Ultrasonic Sensor

Elliot YEUNG¹, Ibrahim ALMOHIMEED^{1,2}, Yuu ONO¹¹Department of Systems and Computer Engineering, Carleton University, ²Department of Medical Equipment Technology, Majmaah University

93-運-007

連続せん断波映像法の分解能向上のための領域分割フィルタ

安藤 秀一¹, 伊藤 拓海¹, 池永 久典¹, 設楽 仁², 筑田 博隆², 山越 芳樹¹¹群馬大学 大学院 理工学府 電子情報・数理教育プログラム, ²群馬大学 医学部 整形外科

【目的】

せん断波による組織弾性評価では空間分解能の向上が求められる。高分解能化にはせん断波の周波数を高めることが基本であるが、周波数を高くするとせん断波の減衰が大きくなり侵入深さが制限される。本稿では我々が提案した連続せん断波映像法で得られるせん断波映像の分解能を向上させるために領域分割フィルタ法を提案する。この方法はBモード画像を参照画像としてせん断波の伝播特性が異なる可能性がある複数領域に分割し、分割領域毎に2次元周波数平面上で空間フィルタ処理を行うことで分解能の向上を図る方法である。

【方法】

骨格筋では、Bモード画像にあらわれる筋膜を筋領域ごとに分割できる。領域分割の前処理としてBモード画像に対し、エッジ保存フィルタによる雑音除去と筋膜強調、線分の傾きを抽出する空間周波数平面上のフィルタによりある角度範囲内の傾きを持つ筋膜を抽出するとともに、筋膜の延長・途切れの補完を行う。その後二値化し、連結領域の検出を筋部分に行うことで複数領域に分割する。最後に、分割領域毎に波数ベクトル上で適応的ウィナーフィルタを演算し、全領域にごく弱い低域通過フィルタをかけることにより領域間の不連続性を除く。

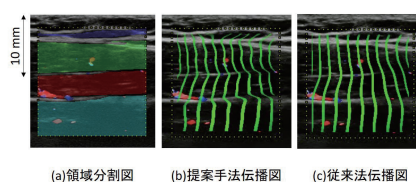
【結果】

提案手法の分解能を評価するためにシミュレーションを行った。

汎用の超音波映像装置をモデルに1ピクセルの大きさを0.13[mm]、ROIを縦185ピクセル横170ピクセルとした。ROI内には速度の異なる上下2層を仮定し、2層間の速度遷移領域の幅から分解能を求めた。せん断波の周波数を76[Hz]、ウィナーフィルタの強度を変えて解析を行った。従来法の分解能はウィナーフィルタの強度に依存し、強度を小さくするほど分解能が向上することが分かった(3.68[mm]から2.63[mm])。一方、提案手法では分解能は2.11[mm]であり、従来法に比べて高分解能化が図れることが分かった。次に、この方法を僧帽筋に適用した結果を図(a)、(b)、(c)に示す。図(a)が領域分割結果(色で各領域を図示)、図(b)が提案手法により得られたせん断波の伝播図、図(c)が従来法による伝播図である。図(b)と(c)を比較すると提案手法により、筋膜を境界としたせん断波の位相の違いがより明確に視覚化できることがわかる。

【結論】

提案手法では分解能が従来法に比べて向上した。提案手法によれば雑音耐性を維持したまま空間分解能の向上が期待できる。



(a)領域分割図 (b)提案手法伝播図 (c)従来法伝播図

A region segmentation filter for improving the resolution of Continuous-SWE

Shuichi ANDO¹, Takumi ITO¹, Hisanori IKENAGA¹, Hitoshi SHITARA², Hirota CHIKUDA², Yoshiki YAMAKOSHI¹¹Graduate School of Science and Technology, Gunma University, ²Orthopedic Surgery, Faculty of Medicine, Gunma University

93-運-008

領域分割フィルタリングによる高分解能連続せん断波映像法の評価

池永 久典¹, 伊藤 拓海¹, 安藤 秀一¹, 設楽 仁², 筑田 博隆², 山越 芳樹¹¹群馬大学大学院理工学府 理工学専攻電子情報・数理教育プログラム, ²群馬大学医学部 整形外科

【目的】

我々は、生体表面から連続的なせん断波を生体内部に導入させる連続せん断波映像法(Continuous SWE法: C-SWE法)を用いて、筋弾性の評価を行っている。本学術集会の別演題でC-SWE法の高分解能化のための領域分割フィルタを提案した。この方法はBモード画像からROI内を弾性特性が異なる可能性がある複数領域に分割し、領域ごとに2次元波数平面上で空間フィルタ処理を行うことで高分解能化を図る。本稿では、この方法を用いて、弾性の異なる2層ファントムを対象とし空間分解能の評価した。また僧帽筋を対象に取得した計117例のせん断波映像に適用し、本手法の有効性を評価したので報告する。

【方法】

提案法をせん断波伝播速度2.52[m/s]、3.36[m/s]の2層ファントムに対して適用し空間分解能を評価した。分解能は、境界面において速度値が各層の真値の10%以内に収まる長さとして定義した。次に、本手法の有効性を僧帽筋で取得した計117例のせん断波映像に適用し、手法の有効性を評価した。筋内の筋膜を介して2領域以上に分割できたものを本手法が有効であった例とした。

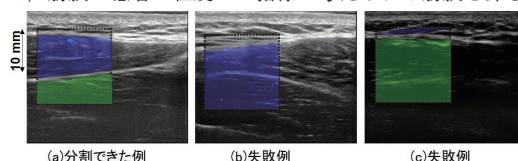
【結果・考察】

弾性の異なる2層ファントムで計測した空間分解能の評価では、提案法で2.50mm、従来法で4.47mmであり、提案法は従来法と比較

して高い分解能が得られた。次に、提案法を僧帽筋に適用した結果、2層以上に分割できた例は117例中113例であった。分割できた例を図(a)に示す。分割できなかった例を原因別に、1例ずつ図(b)、図(c)に示す。図(b)は筋膜の角度が検出できる線分の角度範囲外であったことが原因であり、分割できなかった4例中2例で見られた。図(c)は輝度が低すぎて筋膜がBモード上に描出できなかったことが原因であり、分割できなかった4例中2例で見られた。分割できた例の中で、2分割された例が64例(54.7%)、3分割された例が30例(25.6%)、4分割された例が10例(8.5%)、それ以上に分割された例が9例(7.7%)であった。

【結論】

領域分割によるC-SWE法の高分解能化の手法を提案した。この方法を僧帽筋に適用し、分解能の向上が図れることを確認した。この方法によってせん断波の波面が高分解能に推定できたが、今後は提案法を用いて、筋膜の癒着の程度の一指標と考えられる筋膜を介したせん断波波面の位相差の評価等に応用していきたい。



(a)分割できた例 (b)失敗例 (c)失敗例

Evaluation of high-resolution Continuous Share Wave Elastography method by using Region segmentation filtering

Hisanori IKENAGA¹, Takumi ITO¹, Shuichi ANDO¹, Hitoshi SHITARA², Hirota CHIKUDA², Yoshiki YAMAKOSHI¹¹Graduate School of Science and Technology, Gunma University, ²Orthopedic Surgery, Faculty of Medicine, Gunma University

93-運-009

ヒト骨格筋の組織弾性-受動張力関係：超音波せん断波エラストグラフィによる検討

小出所 大樹¹, 谷口 圭吾², 溝口 照悟³, 渡邊 耕太², 藤宮 峯子³, 山越 芳樹⁴, 片寄 正樹²¹札幌医科大学 大学院保健医療学研究科, ²札幌医科大学 保健医療学部理学療法第二講座, ³札幌医科大学 医学部解剖学第二講座,⁴群馬大学 大学院理工学部電子情報部門

【目的】

筋組織に加わる力学ストレスの客観的な評価は運動器障害の病態理解や治療法の開発に不可欠である。近年、超音波せん断波エラストグラフィを用いた筋スティフネスの定量によって受動張力を非侵襲的に推定評価できることが認められつつあり、ヒト生体の様々な筋での力学ストレス推定が進められている。しかし、本手法による受動張力評価の妥当性はニワトリやブタなど哺乳動物の骨格筋に限定して実証されており、ヒト骨格筋での弾性-受動張力関係は不明である。膝前十字靭帯ではヒトとブタで力学特性が異なるという報告もあり、生体への応用に向けてはヒト骨格筋の直接的な弾性-張力関係を示すことが重要である。

本研究では、組織性状がヒト生体に近いThiel法固定献体の骨格筋を対象に弾性と伸長に伴う受動張力の関係性を検討することを目的とした。

【方法】

本研究は札幌医科大学倫理委員会の承認を受けて実施した（承認番号30-2-26）。Thiel法固定献体3肢から大腿直筋の近位・遠位腱を切断して取り出した。その後自作の力学試験装置に両端を固定し、受動張力として60gずつ最大600gまで荷重を加え、同時にせん断弾性率をエラストグラフィで計測した。1肢につき伸長負荷課題を2回実施した。2変数の関係性検討は受動張力を目的変数、せん断弾性率を説明変数とした直線回帰分析を各肢で実施した。負荷課題の再現

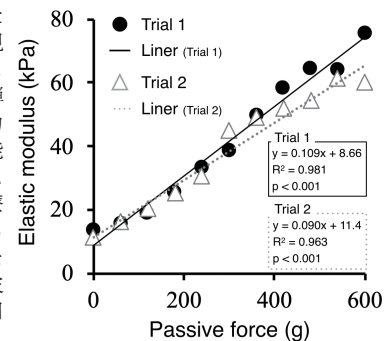
性検討には級内相関係数ICCを算出した。有意水準は5%とした。

【結果】

3肢全てにおいて回帰式は有意($p < 0.01$)であり、受動張力と弾性率に正の相関関係を認めた。3肢の回帰式の決定係数はそれぞれ 0.96 ± 0.03 , 0.94 ± 0.06 および 0.97 ± 0.01 であった。ICCは 0.95 ± 0.01 であった。

【考察および結論】

本イメージング技術で捉えたニワトリやブタの筋弾性と受動張力の間には決定係数0.9以上の強い正の相関が報告されている。今回は先行研究と同様に全例で非常に高い線形性を認めたこと、さらに測定の再現性も良好なことから、ヒトにおいても筋組織の弾性計測に基づき受動張力の推定評価ができる可能性がある。このことはストレッチング等の運動療法でヒト骨格筋に加わる力学ストレスの定量的なモニタリングにせん断波エラストグラフィが有用であることを示唆する。



Relationship between elastic modulus and passive force in human muscle: an ultrasound shear wave elastography study

Taiki KODESHO¹, Keigo TANIGUCHI², Shougo MIZOGUCHI¹, Kota WATANABE², Mineko FUJIMIYA³, Yoshiki YAMAKOSHI⁴, Masaki KATAYOSE²¹Graduate School of Health Sciences, Sapporo Medical University, ²Second Division of Physical Therapy, School of Health Sciences, Sapporo Medical University,³Second Division of Anatomy, School of Medicine, Sapporo Medical University, ⁴Graduate School of Science and Technology, Gunma University

93-運-010

骨格筋をモデルとした体表加振で励起されるせん断波の伝播解析

小久保 大輔¹, 堀口 悠希¹, 金谷 裕司², 倉品 渉³, 紺野 啓⁴, 谷口 信行⁴, 山越 芳樹¹¹群馬大学大学院 理工学部, ²自治医科大学 整形外科, ³とちぎメディカルセンターしもつがリハビリテーションセンター,⁴自治医科大学 医学部臨床検査医学講座

【目的】

超音波装置のカラーフローイメージングによりせん断波の波面を可視化すると、連続せん断波映像法による骨格筋の弾性評価では、筋線維方向とそれと直交する方向でせん断波の伝搬速度が異なる異方性があるため、せん断波をいかに筋線維に沿って伝播させるかが測定精度の向上につながる。本稿では小型加振器によって表面から導入するせん断波の伝播を、骨格筋の構造を想定したモデルに対して時間領域差分法(FDTD法)により解析し構造内のせん断波の伝播を評価したので報告する。

【方法】

FDTD法により微小時間ごとに波面のベクトル変位を差分計算することでせん断波の伝播をシミュレーションした。図(a)は我々が提案したC-SWE法で得た骨格筋のin vivo実験例であるが、生体表面からせん断波を励起させているにも関わらず、せん断波が筋線維に沿って伝播している。これを解析するために厚さ8mmの脂肪層(第1層)とその下部に厚さ27mmの筋組織層(第2層)を想定した骨格筋モデルを考えた。せん断波の伝播速度は第1層1.0[m/s]、第2層3.9[m/s]である。また、厚さ計35mmの第2層だけを想定したモデルを考え第1層の有無による比較を行った。x軸上に小型加振器(ホルダーの右端から20mmに加振源がある)を設け、z軸方向にせん断波を励起させた。この時、伝播する波面をx軸方向を角度0[deg]とし波面の平均角度を指標として求めた。この計算を、測定ROIを想定した20mm四方の四角形内(以下ROIと呼ぶ)で求め、ROI内の波面角度を θ とした。また加振器-ROI間距離Lを30mmまで変えたときのROI内に伝わるせん断波の伝

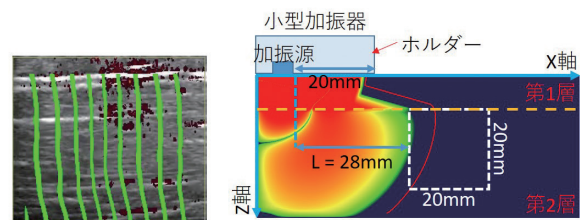
播も評価した。

【結果】

図(b)が第1層ありの場合でL=28mmのときの結果であり、 $\theta = 6.01[\text{deg}]$ であった。この図ではせん断波の振幅の絶対値をとり対数値で色付けしている。一方、第1層がない場合はL=27.7mmのとき $\theta = 14.11[\text{deg}]$ でありせん断波伝播速度が低い第1層があると約2倍の角度差が見られた。これは速度の高い第2層内を波面が先進し、このため横方向への伝播が強調されるためと推察された。

【結論】

骨格筋内の体表に近い速度の低い層が、体表加振を行うC-SWE法においてせん断波を筋線維に沿って伝播させる上で重要なことがシミュレーションで示された。



(a) 骨格筋の伝搬図

(b) 第1層がある場合のシミュレーション図

Propagation analysis of shear wave excited by vibration on body surface for a model of skeletal muscle

Daisuke KOKUBO¹, Yuki HORIGUCHI¹, Yuji KANAYA², Wataru KURASHINA³, Kei KONNO⁴, Nobuyuki TANIGUCHI⁴, Yoshiki YAMAKOSHI¹¹Science and Technology, Grad School of Gunma University, ²Department of Orthopaedic Surgery, Jichi Medical University School of Medicine, ³Rehabilitation Center, Tochigi Medical Center Shimotsuga, ⁴Department of Clinical Laboratory Medicine, Jichi Medical University School of Medicine

93-運-011

双方向超音波加振を用いた粘弾性推定手法による異方性粘弾性の推定

福澤 徳美¹, 川村 響², 森 翔平², 荒川 元孝^{2,3}, 金井 浩^{2,3}¹東北大学 工学部, ²東北大学 大学院工学研究科, ³東北大学 大学院医工学研究科

【目的】

筋肉は筋線維が束になり構成されており異方性粘弾性を有する。そのため、筋肉の粘弾性の推定において異方性を考慮する必要がある。我々は双方向超音波加振を用いて粘弾性を局所的に推定する手法を開発した[1]。本報告では、異方性を有する粘弾性ファントムに対して異方性粘弾性を推定した。

【方法】

動作中心周波数が1 MHz, 有効開口幅50 mm, 焦点距離60 mmの2つの凹面超音波トランスデューサを対向させて、ファントム表面への照射角度がファントム表面に対して35°, トランスデューサの焦点をファントム表面の中心に一致させるように設置した。直径300 μm のウレタンゴム紐を100本束ね、それをウレタン樹脂で固めた異方性粘弾性ファントムを作製した。ファントム表面を上から見たときに超音波トランスデューサが対向している軸を $\theta=0^\circ$ とし、ファントム内のウレタンゴム束の方向を $\theta=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ に各々合わせて設置し、超音波加振したときの変位の周波数特性を取得した。また、加速度ピックアップを加振することで音響放射力の周波数特性を取得し、変位と音響放射力の周波数特性から各角度における相対コンプライアンスを算出した。それに粘弾性モデルをフィッティングすることにより粘弾性パラメータを推定した。

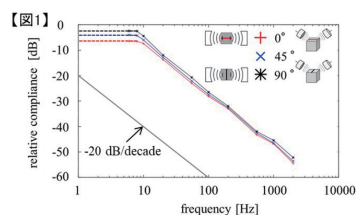
【結果・考察】

各角度において算出された相対コンプライアンスを図1に示した。算出された相対コンプライアンスの周波数特性は、Voigtモデルに

類似した傾向を示した。各相対コンプライアンスにVoigtモデルをフィッティングした。推定された変曲点 G/η 、これに対し η を一定と仮定したときの相対弾性率 G 、相対コンプライアンスが一定となる周波数範囲(6 ~ 8 Hz)より求めた相対弾性率 G' を表1に示した。 G と G' は一致した。また、 $\theta=90^\circ$ のときより、 $\theta=0^\circ$ のときに推定された弾性率が大きかった。これは、筋線維と平行に加振したときの弾性率のほうが平行に加振したときのそれより大きいという他の研究グループによる結果と同様であった[2]。従って、異方性を有した粘弾性を計測できたと考えられる。

【参考文献】

- [1] R. Watanabe, M. Arakawa, and H. Kanai, Jpn. J. Appl. Phys., Vol. 57, 07LF09 (2018).
[2] J. L. Gennisson, T. Defieux, E. Macé, G. Montaldo, M. Fink, and M. Tanter, Ultrason. Med. Biol., Vol. 36, pp. 789-801 (2010).



【表1】

$\theta [^\circ]$	G/η [Hz]	G	G'
0	8	1.6	1.6
45	6	1.2	1.2
90	5	1	1

Estimation of anisotropic viscoelasticity by dual ultrasound excitation

Narumi FUKUZAWA¹, Hibiki KAWAMURA², Shohei MORI², Mototaka ARAKAWA^{2,3}, Hiroshi KANAI^{2,3}¹School of Engineering, Tohoku University, ²Graduate School of Engineering, Tohoku University, ³Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University

93-運-012

タブレットエコーを用いた連続せん断波映像システム

寺内 紳悟, 阿部 竣輔, 半田 晃輝, 山越 芳樹
群馬大学 大学院理工学府

【目的】

リハビリテーションやスポーツ医学分野で筋や腱の弾性評価を行うには理学療法室やアリーナ等にも持ち出せる小型で可搬型のせん断波映像装置が必要になる。しかし腱は伸展により硬くなるので、Time of Flight法を使う従来のSWEでは伝播速度の測定可能範囲を超えてしまう。本稿では我々が提案した連続せん断波映像法 C-SWE (Continuous Shear Wave Elastography) を新規開発したタブレットエコーに実装し、小型・可搬型のせん断波映像系を構成したので報告する。

【方法】

タブレットエコーは従来の超音波映像装置と比較し雑音の影響を受けやすいので、定量性の高い測定が難しい。そこで信号の周期性と対称性に注目し、正弦波加振に特化したMTI Filterと流速推定を行える新たな雑音除去法を導入した。MTI Filterは、加振周波数付近の信号のみを通過させる狭帯域フィルタであり、流速推定法では半周期ごとの信号の対称性に着目し対称性のある信号のみを強調し流速推定を行う。これらの手法を組み入れてタブレットエコー上に連続せん断波映像システムを構築した。その仕様は、①中心周波数:7.5[MHz]、②3.5[s]毎にせん断波図の測定が可能、③二次元マップで伝播図、速度図、方向図、位相図、Qualityマップが得られる、④過去の結果をプレイバック可能、⑤小型で可搬、⑥USB給電で

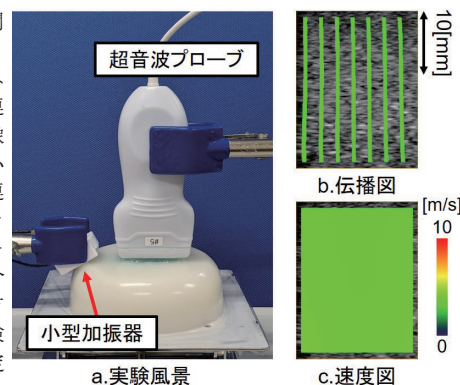
タブレットエコー及び加振器ドライバの動作が可能、である。

【実験・結果】

分散性の低いファントムに対して、小型加振器(加振周波数71.8[Hz])でせん断波を励起させ、伝播の様子を測定した(図a)。この時の伝播図、速度図を図b、cに示す。伝播速度は平均約3.57[m/s]であったが、従来のSWEとの伝播速度差は1.4[%]であった。

【結論】

C-SWEと新規開発したタブレットエコーの組み合わせによる連続せん断波映像法を提案し、小型で可搬型の連続せん断波エラストグラフィを構築した。今後提案手法の有用性について検討していく予定である。



Continuous shear wave imaging system using tablet echo

Shingo TERAUCHI, Shunsuke ABE, Koki HANDA, Yoshiaki YAMAKOSHI
Graduate School of Science and Technology, Gunma University

93-連-013

超音波検査における腱断裂縫合後の評価

前山 美誠¹，田中 祥貴²，野島 大亮¹，八木 寛久²，佐々木 康介²，五谷 寛之²

¹大阪掖済会病院 放射線科，²大阪掖済会病院 整形外科

【目的】

腱断裂縫合後に起こる合併症として再断裂や癒着があるが，臨床所見からその鑑別は困難と言われている．このような症例に対して超音波検査での鑑別は，有用と報告されており当院でも可能な限り行っている．今回我々は，腱縫合後の再断裂と癒着との鑑別に対し超音波検査の有用性について検討を行った．

【対象・方法】

手関節以遠で腱縫合術を行った13症例を対象とした．縫合部は屈筋腱11例，伸筋腱2例であった．屈筋腱縫合例は母指3例，示指2例，中指3例，環指2例，小指1例であった．伸筋腱縫合例は示指1例，小指1例であった．縫合部位は中手骨 3例MP関節 4例，IP関節 6例であった．これらの症例に対して超音波装置を用い，縫合部で腱の長軸・短軸像を描出し，腱の癒着や断裂を評価した．臨床上，自動屈曲・伸展が良好で再断裂・癒着の可能性がないと判断した5例をコントロール群とし，屈曲・伸展障害を認め再断裂または癒着が疑われた8例を障害群とし，両群での超音波所見を比較した．

【結果】

コントロール群では全例，超音波検査で腱縫合部での腱の連続性は良好に描出されていた．障害群8例中6例はコントロール群と同様に腱縫合部は腫大し，腱の連続性も良好であったことから癒着と診断した．一方2例は腱の連続性は描出不良で縫合部の狭細化，縫合

糸と思われる高輝度の線状エコー像を認め，再断裂を疑った．癒着と診断した6例は，保存的にリハビリ加療を継続し，最終的には4例で癒着は改善し，2例はリハビリ加療継続中である．一方，断裂が疑われた2例は超音波検査後3週で再手術を施行した．術中所見は超音波所見と同様，腱縫合部で縫合糸が伸びきり，gapも認められ再断裂と診断した．

【考察】

超音波所見上，コントロール群および癒着例での腱縫合部は正常腱より同等，もしくは腫大していたのに対して，断裂を認めた2例は腱縫合部の狭細化を認めた．さらに断裂例では縫合部で縫合糸と思われる高輝度の線状エコー像がはっきりと確認でき，これらの所見は再断裂を示唆するものと考えられた．腱縫合後の可動域不良例に対し，超音波検査で癒着か再断裂かの評価を行うことで，積極的なリハビリを継続するか，再手術を行うかを早期に判断することが可能になると思われた．

【結論】

腱縫合後の癒着もしくは再断裂の評価には，超音波検査が有用であると思われた．

Evaluation after tendon tear suture in ultrasonography

misato MAEYAMA¹，yoshitaka TANAKA²，daisuke NOJIMA¹，norihisa YAGI²，kousuke SASAKI²，hiroyuki GOTANI²

¹Radiology, osakaekisaikaihospital, ²Plastic surgery, osakaekisaikaihospital

93-連-014

Dupuytren 拘縮の手術における術前超音波の有用性

野島 大亮¹，田中 祥貴²，前山 美誠¹，國場 里奈¹，五谷 寛之²，佐々木 康介²，八木 寛之²，窪田 稔²

¹大阪掖済会病院 放射線科，²大阪掖済会病院 整形外科

【目的】

Dupuytren拘縮の治療法は，薬剤注射や手術による索状物を摘出する手術療法があるが，索状物により指神経が蛇行し，解剖学的な走行をしていない症例は少なからず認められる．手術の合併症として神経損傷の報告もされているため，当院ではDupuytren拘縮の術前に超音波検査を施行し，指神経の走行を確認している．今回我々は，超音波所見と手術所見と比較し超音波検査の有用性について検討を行った．

【対象・方法】

手掌部に硬結や陥凹MPに屈曲拘縮が見られDupuytren拘縮を疑い，術前に超音波検査を行った2例2手を対象とした．これらの症例では術当日に放射線技師が超音波装置を用いて指神経の走行を確認し，皮膚上にマーキングしておき，執刀医が術中の所見と比較した．評価した指神経は環指両側指神経であった．

【結果】

1例では術前の超音波検査で基節骨基部からPIP関節の範囲で尺側指神経の蛇行を認め，術中所見でも，超音波検査と同様，環指尺側指神経は尺側から橈側へ蛇行していた．もう1例では超音波検査で指神経の走行異常を認めず，術中所見でも神経の走行異常は認めなかった．

【考察】

指神経の正常走行症例も蛇行した症例も，超音波検査では鮮明に捉えており，指神経の走行や状態，皮下からの距離など，術前に多くの情報を提供できるため，神経の損傷等の合併症を軽減できるのではないかと考える．

【結論】

Dupuytren拘縮症例での術前超音波検査は指神経の走行異常も正確に評価でき，有用と思われる．

Usefulness of preoperative ultrasound in surgery for Dupuytren contractures

Daisuke NOJIMA¹，Yoshitaka TANAKA²，Misato MAEYAMA¹，Rina KUNIBA¹，Hiroyuki GOTANI²，Kousuke SASAKI²，Hiroyuki YAGI²，Minoru KUBOTA²

¹Radiology, osakaekisaikaihospital, ²Orthopaedic, osakaekisaikaihospital

93-運-015

手根管内構造の形態学的、動的評価による手根管症候群発症原因の探索

藤田 浩二¹, 小山 恭史¹, 二村 昭元², 大川 淳¹, 堤 真大³, 秋田 恵一³¹東京医科歯科大学大学院 整形外科学分野, ²東京医科歯科大学大学院 運動器機能形態学講座, ³東京医科歯科大学大学院 臨床解剖学分野

【背景と目的】

手根管症候群は中高年女性に好発する絞扼性の正中神経障害である。屈筋筋帯の硬化が特徴的であり、これを切離し正中神経の絞扼を解除することで良好な手術成績が得られる。一方でその発症機序は未だ十分に解明されていないため、早期診断や症状の進行を予防する方法の確立には至っていない。病期の進行とともに手根管内での正中神経の可動性が低下することが報告されていることを踏まえ、我々は手根管症候群の病態解明を目指して、手根管内で正中神経-屈筋腱をつなぐ結合組織の変化に病態の首座があるとの仮説を立て、生体での超音波検査と解剖体での組織評価を行った。

【方法】

東京医科歯科大学実習用解剖体3例6手を用いて、超音波検査と同部位の体軸断面像を作成し、Masson's trichrome染色を行った。

手根管症候群患者5名10手、正中神経症状のない健常ボランティア5名10手に対して、LOGIQ E10 (GE Healthcare), L8-18iプローブを用いて手根管内組織の描出、評価を行った。評価は手根管入口部（近位手首皮線）、手根管中央部（有鉤骨鉤中央）での体軸断面像で行い、同時に手指の把握動作時の正中神経の可動性と周囲組織を評価した。

【結果】

解剖体の組織学的解析により、正中神経は橈尺側方向に広がる円盤状の疎性結合組織により被覆され、それと接する浅指屈筋腱との間には滑液腔が介在していたが、その疎性結合組織の橈尺側縁は屈筋腱を連ねる結合組織と連

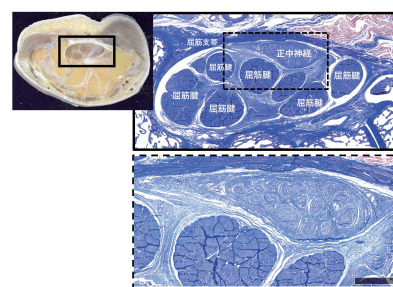
続していた。（図1）

超音波検査の結果、手根管症候群患者では健常者より手根管入口部での正中神経の腫大化と、入口部での可動性が低下していることが確認され、同時に重症化に伴って悪化を認めた。一方、中央部では可動性に大きな差を認めなかった。

【考察】

超音波診断装置の発達に伴い、従来観察できなかった微細構造とその挙動を体表から確認できるようになりつつある。本研究では、超音波診断装置による正中神経および周囲構造の可視化と解剖体を用いた形態的評価との重ね合わせを行い、病態の理解を試みた。正中神経周囲の粗性結合組織は屈筋腱の運動を神経に伝達する形態をしているものの、手根管症候群発症に伴って徐々に硬化し神経の可動性を阻害していることが確認できた。

今後、より高解像度の超音波診断装置が開発されれば、絞扼性神経障害発症や病期進行メカニズムの理解へとつながるものと考えられる。



Anatomical and ultrasonographic evaluation of carpal tunnel to explore the etiology and onset mechanism of carpal tunnel syndrome

Koji FUJITA¹, Takafumi KOYAMA¹, Akimoto NIMURA², Atsushi OKAWA¹, Masahiro TSUTSUMI³, Keichi AKITA³¹Department of Orthopaedic and Spinal Surgery, Tokyo Medical and Dental University, ²Department of Functional Joint Anatomy, Tokyo Medical and Dental University, ³Department of Clinical Anatomy, Tokyo Medical and Dental University

93-運-016

成人家族性高コレステロール血症におけるアキレス腱肥厚像の超音波動的検討

水関 清

函館渡辺病院 総合診療科

家族性高コレステロール血症（familial hypercholesterolemia: FH）は、低比重リポ蛋白コレステロール高値、早発性冠動脈疾患、腱・皮膚黄色腫を3主徴とし、人口1000人当たり2～4人の出現率とされる。その予後改善のために厳格な脂質管理が推奨される疾患であるが、診断率は決して高くなく、その原因の一つとして挙げられるのが、「アキレス腱肥厚の評価」の煩雑性である。

一般診察においてアキレス腱の触診でわかるのは、左右径であり、X線像の前後径とは本質的に異なるという問題に加えて、アキレス腱のX線軟線撮影機器の普及というハード面での問題のほか、アキレス腱と周囲との間の境界判別の難しさというソフト面での問題もある。またアキレス腱の走行の特性上、X線法側面像で計測されるのは、完全な側面像ではなく、前後方向に15度程度傾いた像であり、この角度を補正して正確な継続が可能な超音波法に比べて、過大評価する傾向が強いことも問題となる。

こうした問題点が認識された結果、X線被曝のない超音波検査の応用がすすめられ、日本超音波医学会・日本動脈硬化学会合同の「超音波法によるアキレス腱厚測定」の標準的評価法（以下、評価法）では、男性6.0 mm以上、女性5.5 mm以上を肥厚の基準としている。自験10例の超音波像を示す。まず、腱肥厚の有無について評価法での基準値と対比させると、男性例で4例中1例、女性例で6例中3例が肥厚ありと判定され、全体で40%の基準合致率であった。つぎに、腱の内部エコーパターンについては、評価法に記載のある石

灰化を疑う音響陰影は自験例では10例中2例（症例1, 3）に、さらに限局性低エコー域は6例（症例1, 2, 3, 6, 9, 10）に認めたが、症例4では、規則的な線状高エコーの配列像が比較的保たれた領域と、それらが失われた領域とが混在する所見にとどまり、一定の面積を占める「限局性低エコー域」と言い得るほどではなかった。評価法で肥厚なしと判定された6例中3例に、内部エコーの異常所見を認めた。

以上をまとめると、(1)アキレス腱は前後径と左右径ともに増大するが、その程度は前後径においてより強い傾向を示す結果、前後径/左右径比は増大すること、(2)内部エコーの不整像は斑状低エコー像や斑状のストロング・エコー像の混在の結果としてあらわれるもののほか、腱の内部を規則的に走行する線状の高エコーの腱組織束の密度が減少して低エコー域に置換される結果、脳回状の内部エコーパターンを呈するものまで、多彩であること、(3)これら症例に比較して、20代という早い時期に治療が開始された例では、上記の変化のいずれもが認められなかったこと、の諸点に要約される。超音波検査法の利点は厚みに加えて、腱の内部構造を総合的に評価できる点にある。具体的には、腱の前後径・左右径・前後径/左右径比の評価、高周波探触子を用いた腱内部構造の詳細な評価などである。(1)と(2)はこれまでの評価法に記載のない所見であり、研究の継続によって、さらなる解明を進めたい。

Ultrasonic images of Achilles tendon thickening in adult patients suffering familial hypercholesterolemia

Kiyoshi MIZUSEKI

Department of Integrated Medicine, Hakodate-Watanabe Hospital

93-連-017

連続せん断波映像法によるエコーガイド下刺鍼の3次元位置可視化

小川 智也, 太田 聖人, 山越 芳樹
群馬大学 大学院理工学府

【目的】

痛み治療のための鍼治療ではファシアなどの対象部位に正確に鍼を刺すことが求められる。そのため、エコーガイド下刺鍼が行われている。しかし鍼の直径は0.18[mm]程度と極細でBモード画像から鍼位置を見つけて出すことは困難であり、かつ鍼が超音波映像面に達しないと鍼の可視化ができないという問題がある。我々は穿刺針を微小振幅で加振させ、針から周囲に放射されるせん断波の波面を連続せん断波映像法で可視化し、針の3次元位置を推定する新しい方法を提案した^[1]。本稿ではこの方法をエコーガイド下刺鍼に使うことを想定し、鍼の3次元位置を可視化する刺鍼支援システムを構築したので報告する。

【方法】

我々の連続せん断波映像法では、周波数条件および振幅条件を満たすせん断波を励起した時、せん断波の波面がCFI画像上に二値化画像として再現される。また、超音波映像面に鍼が達していなくても伝播するせん断波の波面が得られるため、鍼位置を3次元的に可視化できる。実験では、微小振幅(周波数:276.5[Hz],振幅:60[μm])で振動させた超小型加振器(形状:ボタン型,直径:10[mm],厚さ:4.0[mm])を図(a)のようにゴム手袋内の親指にいて固定し、セイリン鍼の鍼柄に軽く接触させ、超音波ガイド下(EUB8500, Hitachi)でファントムに鍼を挿入する。測定の様子を図(b)に示す。

【結果】

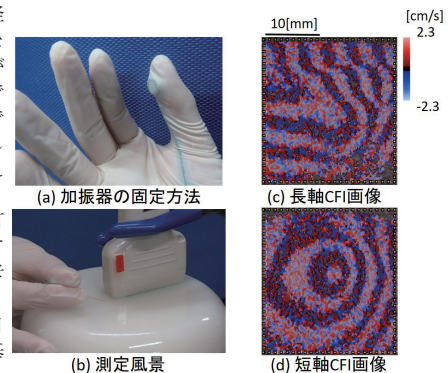
図(c)(d)に長軸、短軸で刺鍼した時の超音波映像面上のCFI画像の結果をそれぞれ示す。図(c)より、鍼の位置と推定される部分からせん断波が伝播していることが確認できた。一方、図(d)より、鍼位置からせん断波が放射状に伝播

していることが確認できた。よって、Bモード画像では困難であった鍼位置を可視化できた。また、超音波映像面から離れた所で鍼を加振させると長軸では鍼からの投影像が鈍角となり、短軸では鍼付近のせん断波の中心部が変化した。従って、超音波映像面と鍼の距離dは鍼自体が超音波映像面に達していなくても鍼自体が鍼付近のせん断波波面の様子から推定できる。

【結論】

超小型加振器を加振源としたシステムで映像化実験を行った結果、Bモード画像で観測できなかった直径0.18[mm]の極細な鍼を挿入する様子がCFI画像では観測できた。本システムでは、付加的装置なしで簡便に測定が行えるため、エコーガイド下刺鍼の鍼位置可視化システムとして活用できるものと考えられる。

[1]阿部 他,第92回日超音波抄録集,92-基-055, S577(2019)



3-D visualization of echo-guided needle puncture by C-SWE method

Tomoya OGAWA, Masato OTA, Yoshiaki YAMAKOSHI
Graduate School of Science and Technology, Gunma University

93-連-018

超音波検査の立ち位置 - 臨床現場の現状 -

面谷 透

船橋整形外科病院 スポーツ医学・関節センター

X線撮影が開発され整形外科分野に導入されて以来、整形外科診療は単純X線による骨の観察を中心に回ってきたと言っても過言ではない。実際、X線を活用した診療は整形外科を飛躍的に進歩させ、診療のスタンダードとなった。

一方で、X線には短所がある。撮影のために大掛かりな設備が必要であり、いつでもどこでも撮影できるわけではない。また、被曝を伴うことから、頻回の撮影や透視下での長時間の観察は勧められないものではない。

そうした点において、超音波検査には優れた長所がある。器械は年々小型化し、病院やクリニックで使用する大型の据え置きタイプから、スポーツ現場などでも使用可能な小型のものも登場している。近年では、比較的小型の機種でも大型機に遜色ない画質のものもある。また、超音波は被曝がなく、頻回に撮影を行っても問題がない。こうした背景から、整形外科診療において超音波検査は浸透しつつある。

実際の臨床現場における骨病変に対する超音波の強みは、X線では評価できない病変や所見を検出できること、そして動的な評価が可能なことである。

打撲や捻挫などにより患部の腫脹や痛みがみられる場合、骨折の有無を判定することは後療法を決定する上で重要である。骨病変の有無をX線で評価するには限界がある。X線により得られた画像は三次元の骨をX線により可視化したいわゆる影絵であるため、転位を伴う骨折の評価や骨折によるアライメントの変化の評価など、比較的マクロな視点での評価により適している。しかし、微小な骨折線や裂離骨折などの比較的微小な病変

の検出には向かない。また、骨皮質に骨折線を伴わない病期の疲労骨折などの病変の検出は困難である。

一方、超音波検査は微小な骨折や、皮質の損傷を伴わない病変の検出も可能である。例えば、胸部打撲により強い痛みを訴える患者のX線撮影で肋骨骨折が検出されない際、超音波検査では骨皮質の途絶を認めることがある。足関節捻挫に対するX線検査で異常がなくても、超音波検査では裂離骨折を認めることがある。また、皮質表面の低エコー域や血流の増加は、疲労骨折を示唆する重要な所見である。

骨折が検出できた際に行うべきことは、骨折部の不安定性を動的に評価することである。皮質の途絶があってもその表面の骨膜の破断がない場合、骨折部は安定していることがある。外固定を行う範囲を最小限として骨折部を保護する程度に留めれば、隣接関節の過剰な外固定に伴う拘縮発生を予防できる可能性がある。また、骨折部に形成される仮骨は、外固定を外して可動域訓練を開始するか判断する上での重要な所見であるが、骨折部に対するX線の照射角度によっては、皮質骨に隠れた仮骨を評価できないことがある。超音波では骨折部を多角的に評価可能なため、形成された仮骨を検出しやすい。加えて、骨折部にストレスをかけて安定性が確認できれば、可動域訓練を開始する目安となりうる。過度な外固定や長期の運動制限をせず適切な後療法を選択することは、患者を早期復帰に導きうる。

発表では、実際の症例の画像や動画を提示して、骨病変に対する超音波検査の有用性について述べる。

Position of Ultrasonography - Present State of Clinical Practice -

Toru OMODANI
Sports Medicine & Joint Center, Funabashi Orthopaedic Hospital

93-運-019

X線評価できる骨傷害

笹原 潤^{1,2,3}, 根井 雅^{1,2,3}, 荒川 曜子^{1,2,3}, 宮本 亘^{1,2}, 安井 洋一^{1,2}, 中川 匠^{1,2}, 河野 博隆^{1,2}

¹帝京大学 スポーツ医科学センター, ²帝京大学 医学部整形外科学講座, ³Sonography for MSK Activating Project 整形外科

1895年, 人類の歴史に残る大発見があった。レントゲン博士によるX線の発見である。それまで問診や視診・触診によって類推することしかできなかった体内の様子を, X線により画像評価できるようになり, 医療は飛躍的に進化した。とくに運動器領域においては, 骨折が直接画像診断できるようになったことで, 世界中の医療水準が大きく向上した。その後1900年代後半になると, 超音波, CT, MRIと画像検査は続々と発展を遂げ, 現在もお進歩し続けている。

近年, 骨折をはじめとした骨傷害に対する超音波の有用性が広く認知されつつある一方で, X線の必要性が低くなりつつある。しかし, 骨折におけるアライメントの評価など, X線に優位性がある部分もある。本発表では, X線評価できる骨傷害と, X線でなければ評価できない骨傷害について, 実際の画像を交えて紹介する。

Bone injuries for which x-ray examination is useful

Jun SASAHARA^{1,2,3}, Masashi NEI^{1,2,3}, Youko ARAKAWA^{1,2,3}, Wataru MIYAMOTO^{1,2}, Youichi YAU^{1,2}, Takumi NAKAGAWA^{1,2}, Hirotaka KAWANO^{1,2}

¹Institute of Sports Science and Medicine, Teikyo University, ²Department of Orthopaedic Surgery, Teikyo University School of Medicine, ³Department of Orthopaedic Surgery, Sonography for MSK Activating Project

93-運-020

X線評価できない骨障害と外傷

宮武 和馬

横浜市立大学附属病院 整形外科

整形外科で診療する骨障害と外傷において, X線は今も昔も整形外科医の第一選択である。一方で, X線では評価が難しい, あるいは出来ないものも存在する。X線で評価する際は, その点を理解して読影する必要がある。本発表ではX線で評価できない骨障害や外傷について紹介する。

転位の少ない骨折の初期や骨障害の発生初期などが, X線での評価が特に難しい。例えば転位の少ない骨折では, X線で骨折線がはっきりとしないことが多々ある。骨折の経過とともに仮骨が形成され, X線での評価が可能であるが, 初期での評価は困難である。そういった場合でも, MRIや超音波診断装置(以下エコー)などでは骨折線が見えることが多々存在する。また, 骨折だからといって, 骨の変化だけに頼る必要はなく, 血腫などから骨折の推測も可能である。

また, X線は自分が想定した外傷や障害の照射の角度により, 評価できる部位が大きく変わる。成長期における足関節捻挫や上腕骨小頭離断性骨軟骨炎(以下OCD)がその典型である。成長期における足関節捻挫の多くは前距腓靭帯による外果の裂離損傷である。小児の裂離損傷は軟骨成分が多く, X線では診断が難しい。腓骨軸位撮影などを駆使すると診断できるものもあるが, 評価できないことも多々ある。また, OCDも肘関節45°屈曲位や30°外旋斜位であればより診断ができるが, 初期は小頭の軟骨下骨周辺の骨梁構造の変化

を捉えることは難しく, X線での限界があり, 近年では初期の変化を捉えるために, エコーを用いて診断を行なっている。その他にも骨挫傷や多くの骨の外傷・障害をX線だけでは診断が難しい。これらの点を考慮すると, 今後は超音波診断装置がX線より第一選択になると考えられる。

Disorder and trauma of bone cannot be evaluated by X-ray

Kazuma MIYATAKE

Orthopedics Surgery, Yokohama City University Hospital

93-運-021

スポーツエコーの現在と未来：東京オリンピックのその先に

大西 賢太郎

ピッツバーグ大学 Department of Physical Medicine & Rehabilitation

スポーツエコーは、アスリートと日常の人々のケアに革命をもたらしました。その高解像度、アクセス性、および携帯性は日々進歩しており、クリニックやスポーツイベントなど、場所を問わないタイムリーなスポーツ傷害の診断を可能にしました。POCエコーによる病態の視覚化により、怪我の重症度に合わせた的確な治療判断が可能になり、また他の画像診断法のために通常かかった、患者をスケジュールする時間を減らすことができ、ケアの迅速化に繋がっています。もちろん、超音波の動的評価が、特にスポーツ傷害（痛みを伴う弾発股など）の理解に対して有用なことも注目に値します。Mayo Clinicの最近の報告によると、治療の一環としてスポーツエコーが使われたケースと、エコーなしで治療されたケースとを比較した場合、超音波が使用されたケースの方が、スポーツへの素早い復帰が可能であると報告しました。さらにトーマスジェファーソン大の研究によれば、エコーで診断可能であったケースをMRIからエコーに置き換えることで、162億米ドルを節約できることを発表しています。スポーツエコーは、アスリートへのインターベンションにも変化をもたらしています。エコーガイドにより、従来のインターベンションはより安全で正確になりました。従来の注射方法と比較して、関節注射に関して言及すれば、20%から最大100%の精度の向上が得られることが発表されています。アメリカでは2012年より全身麻酔を必要としない、エコーガイド化手術が保険適用され始めました。現在FDAは、腱障害用、そして手根管リリース用の2つのデバイスを承認しています。こうした超音波ガイド下手術は、従来の術後回復と比較して、鎮痛剤の使用が少なく、早期の現場復帰が可能であり、これから先、近い未来に似たようなデバイス・術式が開発されていくでしょう。

Tokyo 2020 and beyond-the future of sports ultrasound

Kentaro ONISHI

Department of Physical Medicine & Rehabilitation, University of Pittsburgh

新たなテクノロジーは、プライマリリハビリテーションをさらに支援し、怪我が発生した場合は、スポーツに戻るまでの時間をより正確に予測する手助けになっていくはずですが、エラストグラフィはスポーツエコーにおいて比較的新しいものではありませんが、腱障害のリスクのあるアスリートを選定することができることが研究で実証されていて、この技術は重要であると考えられています。超音波組織特性評価（UTC）は、電動トランスデューサーと画像解析ソフトウェアを使用して、腱損傷評価のユーザー依存を改善することができます。微小血管イメージングモードでは軟部組織の治癒経過の評価も試みられています。今年スポーツ大国アメリカでは、2校の医学部が医学生全員にマイエコーを買い与えました。現在世界をリードしている日本のエコーテクノロジーとアメリカのコラボレーションは今後のスポーツエコーの発展に重要な役割を果たすでしょう。2Dのエコーの解像度は向上し、3Dリアルタイム超音波イメージングがさらに現実味を帯びるでしょう。今まで見えなかった細部の可視化、推測することしかできなかった3D構造の動的評価が可能になります。これはスポーツ傷害をさらに深く理解していく上で大きな一歩になります。知識、経験の蓄積に比例して、それを使いこなすために必要なトレーニングの量が増え続けます。そんな中、効果的に超音波リテラシーを向上させ続けるにはアクセス性の高いトレーニングの場が不可欠です。5Gネットワークを使用したデータ通信機能の向上により、リモート学習が今までより手軽に可能になってくるでしょう。現在はポケットサイズ、そして手頃な価格帯のポータブル超音波機器が続々と発売されています。エコーを使った遠隔診断の普及もそれほど遠くの未来では無いかもしれません。

93-運-022

Mは何が見たいのか～究極のBモード画像、深部の高分解画像が果たす臨床的価値～

皆川 洋至

城東整形外科 整形外科

視覚化がもたらしたのは言語を超える情報であり、場所を超え現在と未来に客観的事実を伝える。まさに“Seeing is believing”。医学進歩の背景には、患者を救いたい道徳感情ばかりでなく、「見たいものを見たい」・「見えないものを見たい」・「見たことがないものを見たい」といった知的好奇心もある。身体内部の視覚化は、整形外科科学分野に大きな進歩をもたらした。1900年代前半に普及したX線写真は、外観の変形を骨・関節のアライメント異常として視覚化し、X線分類による骨折・脱臼への治療法選択・経過観察・予後予測・術式の開発・発展に貢献した。1900年代後半に登場したCT・MRIは、X線写真で視覚化できなかった骨内病変や骨外病変（軟部組織）を視覚化し、脊椎インストゥルメント手術や関節鏡視下手術の開発・発展に貢献した。X線・CT・MRIが手術の進歩に大きく貢献する一方、両輪である保存治療の立ち遅れが浮き彫りとなった。2000年代になり、外来で超音波診断し、即座に超音波ガイド下治療する新しい診療スタイルが定着し始めた。特に超音波ガイド下注射の普及が保存治療に大きな変化をもたらす。

超音波ガイド下注射は、大関節に対する精度の高い注射技術として始まる。未熟な医師には戦力となったが、盲目的注射に熟達した医師には魅力なかった。高周波リニアプローブが登場すると、熟練医師ですら難しかった小関節内・腱鞘内・滑液包内・末梢神経周囲への注射が正確・簡単にできるようになった。注射範囲が広がる中で革命が起きた。超音波ガイド下ハイドロリリースの登場である。主な標的は痛み・しびれの主原因となる末梢神経周囲。生理食塩水や5%グルコースなどの等張液で、末梢神経周囲のparaneuriumをrelease・rehydrationする。手根管症候群・肘部管症候群

といった絞扼性末梢神経障害ばかりでなく、四肢の皮神経障害、さらに国民病である肩こり・腰痛にも劇的な効果を発揮した。局所治療の超音波ガイド下ハイドロリリースは、除痛効果によって推測した局所病態の答え合わせができる。全身投与の内服薬処方と異なり、病態確認しながらの保存治療経験が医師の臨床レベルを引き上げる。

従来の保存治療は薬物依存傾向が強く、どこか痛ければ「はい湿布・痛み止めNSAIDs」が常識だった。NSAIDsが効かなければ弱オピオイドを安易に処方する。アメリカでは、患者ばかりでなく医師も薬物依存に陥る現状に警鐘を鳴らす。こうした時代の流れの中で、超音波ガイド下ハイドロリリースが従来の常識に一石を投じた。一度でも劇的な治療効果を経験すれば、適応範囲をもっと広げたい。見えないものが見たくなる。いまMが「見たいもの」は末梢神経の内部構造。「見えないもの」は結合組織内に埋もれ周囲組織との識別が困難な末梢神経。「見たことがないもの」は脊髄神経後枝など深部の末梢神経である。標的の視覚化と同時に、痛くない細い針の開発と視覚化がM側のニーズである。

薬剤依存がもたらした深刻な医療費問題が開発の追い風になることは間違いない。原因・結果を共有しながら進歩してきた医学と工学の関係に、「鶏が先か卵が先か」といった因果性のジレンマはない。領域遮断の思考は進歩を妨げる元凶にしかならない。情報の共有とともに重要なのが目的意識の共有である。無意識に作られた壁のドアになるからである。医学が目指すのは患者中心の医療。すなわち保存治療優先non-surgicalであり、脱薬物依存drug independentである。

What is the main target for orthopedic doctors by using high resolution ultrasound images in deep area?

Hiroshi MINAGAWA

Orthopedic, Joto Orthopedic Clinic

93-運-023

なぜ見たいのか？－動きの定量化と 4D 画像－

中島 祐子¹，安達 伸生²¹広島大学大学院 運動器超音波医学，²広島大学大学院 整形外科学

“「運動器」とはどのようなものを指すのでしょうか？”という問いに、日本整形外科学会は、“運動器とは、身体活動に関わる骨、筋肉、関節、神経などの総称です。運動器はそれぞれが連携して働いており、どのひとつが悪くても身体はうまく動きません。”と答えている。このように、人間の身体はうまく動くことが非常に大切であり、神経を介した指令の伝達、筋肉の収縮、腱の滑走、関節の運動、これら一連の動きがすべてスムーズに行われることが重要である。要するに、運動器を評価する際には動きを見ることが必須、と言える。

しかし、画像技術が大きく進歩した現在でも単純X線画像やCTやMRI画像では身体の内側の動きを簡便に、かつリアルタイムに観察することはできず、これができるのは超音波診断装置のみと言っても過言ではない。実際に身体の中で何がどう動いているのかを明らかにしていくことで、病態に近づくことができる。私達が日頃の診療で扱う運動器疾患は、痛み・しびれのような知覚異常を伴うことが多いが、加えて多くが関節可動域制限や関節の不安定性を認め、診療の中では筋肉の収縮、腱の滑走や骨の位置関係など、自分の意思で動かせる組織の動きの観察に加えて、自動運動や負荷に付随する靱帯や神経の動きなど、多くの動きを観察している。その中で、それぞれの動きの違いを考察するためには組織の動きを定量化していくことが必要である。さらに始点と終点が同じ動きでも、そ

の過程が違うこともあるだろう。連続した動きが観察できるからこそ、その違いも明らかにできる。動きを正確に数値化することができれば、疾患の診断のみならず、経時的観察や様々な治療効果の判定にも有用な評価となる。

さらに言えば、運動器のみならず、組織の動きは単一平面上で起こるものではない。よって単一スライス面での動きの観察は、正確には同じ部位の動きを見ていることにはならない。組織自体が体積を有する組織である限り、正確な動きは4D画像でないと表すことはできないのである。

このように動きの定量化、4D画像は、病態の把握や治療効果の判定にも有用であり、数多くの運動器疾患の研究や臨床にすぐにも貢献できる技術であると考えられる。

Why do I want to see the movement quantification and 4D image?

Yuko NAKASHIMA¹, Nobuo ADACHI²¹Musculoskeletal Ultrasound in Medicine, Hiroshima University, ²Department of Orthopaedic Surgery, Hiroshima University

93-運-024

現在の超音波診断装置は運動器診療に向いていない

高橋 周

東あおば整形外科 整形外科

エコーは様々な診療科で用いられている。使用する身体部位により様々なプローブが用意されているが、装置は汎用機であり、診療科や診療部位に特化された超音波診断装置はほとんど存在しない。演者が所属する整形外科診療所では、医師1名が各々に超音波診断装置を設置した診察室2室を交互に用いて1日約120名の患者さんを診察する。そのうち約60%の患者さんに対してエコーを用いた診療を行なっている。患者1名に割ける総診療時間は3分以内であり、3分以内に身体所見、エコー所見をとって、エコーガイド下注射を行うため、コメディカルの診療補助（看護師、看護助手、メディカルクラーク）と医療機器の使いやすさが重要である。現在の超音波診断装置は現状の外来診療では使いにくい点が多々ある。エコー診療の開始時には、『患者登録』ボタンを押してIDや氏名を入力する時間が必要である。この時間と入力ミスを防ぐために、診察室で開いている電子カルテのIDや氏名などの患者情報を自動的に超音波診断装置に飛ばせるシステムがあり、演者はその実用化に関わってきた。また、演者は2025年の本学会で、整形外科外来診療中に頻繁に用いられるボタンは『フリーズ』『画像保存』『患者登録』『ドブラ』『2画面切替』『深度』『ゲイン』がほとんどであることを報告した。不必要なボタンを排除した操作パネルの簡素化が望まれる。また、診察部位は体表から深度1cm以内の手指から深度5cm以上の脊椎・骨盤・大腿まで多岐に渡るため、1本のリニアプローブで視

野深度を変えると自動的に中心周波数、フォーカス、視野幅などが変わり、プローブを変えることなく診療ができる必要がある。リハビリテーション室では6名の理学療法士が1日約40名の患者さんのリハビリテーションを行なっている。理学療法士は半数以上の患者さんのリハビリテーションでエコーを用いている。リハビリテーションでエコーを用いる場合、エコーでの観察、徒手施術を繰り返すため、理学療法士1名に1台のエコーが必要で、装置のコンパクト化、低価格化が待たれる。現在の超音波診断装置は運動器診療には向いていない、それは、画像診断を主とした装置であるからである。運動器の診療では医師はエコーガイド下注射、理学療法士は施術といった治療にエコーを用いる。画像診断装置ではなく、運動器専用の超音波診療装置が必要である。

The current ultrasound imaging equipment is not suitable for medical treatment of musculoskeletal system

Shu TAKAHASHI

Orthopedic surgery, East Aoba Orthopedics Clinic

93-連-025

マイエコーの新時代 – 小型軽量化、低価格化への挑戦 –

佐藤 正和, 入江 喬介

マイクロソニック 技術開発部

【背景とニーズ】

超音波の臨床応用は、今から半世紀以上も昔の1960年に始まった。軟部組織を非侵襲的に観察できるという特徴と、電子リニアスキャンの開発でリアルタイム断層イメージングを実現したことから普及が始まり、カラードプラーによる血流マッピング、エラストグラフィ、shear waveによる組織性状観測と様々な検査分野への応用がなされてきた1)。

整形外科領域においても、診療から救急現場まで、かつての単純X線検査が中心だった時代から、骨以外の筋、腱、靱帯、神経、などの軟部組織も見える超音波検査が「運動器エコー」として一般化してきた。

以前より、超音波診断装置（以下、エコー）を手軽に持ち運び、いつでも、どこでも使いたいというニーズがあった。やがてバッテリーで動作するラップトップ型のポータブルエコーとして検査室を飛び出し、超音波技術や回路技術の発展によって超小型化され、今や誰もが当たり前に携行するスマートフォンやタブレットといった汎用的な情報端末と組み合わせることで、比較的安価に、どこにでも持ち出せて、手軽に使えるポケットエコーとなった。

【小型・軽量、低価格化のシーズ】

従来からの据え置き型のものも含めて、エコーはICの高集積技術の進歩によって小型化・高性能化してきた。我々は以下の3つの基本コンセプトによってポケットエコーの開発を進めてきた。

1. 使用シーン、用途を絞って回路規模を最適化

これによりエコーの心臓部とも言える送受信、ビームフォーマー、信号処理を含む回路基板を超小型化してプローブグリップ部に収めている。また、カスタムICは使用せず、一般に流通している市販部品だけで回路を構成することで低価格化も実現した。

2. 既成携帯端末を表示、操作、制御に使用

android OSで動作する端末であれば、アプリをインストールするだけで

エコーとして動作するようにアプリを開発した。元々モバイルOSとして携帯端末用に開発されたandroid OSは、ポケットエコーにとって多くのメリットがある。起動時間は短く、スクリーンタッチインターフェースを基本とし、開発ツールが無償で提供され、OS自体のコストも安い。既製品のandroid端末は、iphoneやipadと比較すると安価に入手が可能である。また、市販のスマートフォン・タブレットを表示端末、また回路基板の電源として使用することで、その分の開発費用の低減にもつながっている。プローブ側にはバッテリーを持たないので、軽量でもある。

3. 操作の簡素化

通常のエコーは多くのスイッチを有し様々な調整が可能だが、一方で操作性は煩雑になりがちである。ボタン表示は極力少なく、端末を持ったまま親指だけで主要な基本操作ができるように配置し、ほとんどの操作を1～2ステップで完結できるよう配慮している。

【まとめ】

ポケットに入る大きさになったエコーは、訪問看護や災害現場、リハビリ、スポーツの現場と、場所を選ばずいつでもどこでも手軽に使えるツールとなった。今後さらに小型軽量化、低価格化が進むと、医師や技師のみならず看護師や他職種の医療者もポケットに「マイエコー」が入っていて、聴診器のようにエコーが使われる時代が来るかもしれない。

ポケットエコーの普及で、様々な現場で超音波が使われる機会が増えるにつれて、据え置き型の高画質・高機能なエコーのニーズも拡大し、超音波医療全体が今後もますます発展していくことを期待する。

【参考文献】

1. Kobayashi T, Kato H. Development of Pocket-sized Hand-held Ultrasound Devices Enhancing People's Abilities and Need for Education on Them. Journal of General and Family Medicine 2016;17(4):276-88.

Challenge for My Echo - downsizing and cost reduction -

Masakazu SATO, Takasuke IRIE

R&D, Microsonic Co., Ltd.

93-連-026

究極のBモード

今村 智久, 松永 智史, 川岸 哲也

キャノンメディカルシステムズ 超音波事業部

【目的】

近年の超音波プローブの高周波化、高分解能化に伴い、整形外科領域での超音波画像診断の有用性が増している。運動器の動態、血流、硬さをリアルタイムに評価できるという超音波診断装置の大きな特徴も相まって、整形外科領域の診断、治療の場への普及が進んでいる。今回、Aplio iシリーズ用に開発された超高周波24MHzプローブの超高分解能イメージングを支える基盤技術を報告する。

【方法と結果】

超音波ビームには指向性があり、送信方向を中心に強く発射されるメインローブとその周囲に放射状に弱く発射されるサイドローブが存在する。サイドローブを抑制するためには、基本波が生体を伝搬する際に発生する2次高調波を抽出し映像化する技術が用いられる。Aplio iシリーズに搭載されるMulti-Sync Pulserは、送信する基本波の波形生成の精度を高め、高純度に2次高調波成分の抽出ができる。さらに、走査線上に同時に複数の波形を異なる送信焦点で送信が可能。複数の異なる焦点を持つビームを同時に送信し、近距離から深部まで方位分解能をより均一に保ち、深部感度を向上することも実現した。

フレームレート（時間分解能）と走査線密度（空間分解能）とはトレードオフの関係にあるが、一度の送信で複数の走査線のエコーを同時に受信する並列同時受信を用いることで、フレームレートを低下させることなく走査線密度を向上させる。Aplio iシリーズに搭載されるMulti-Beam Receiverでは、例えば一度に64本の受信ビームを生成することが可能であり、これまでも同じフレームレートを維持しながら、数倍の空間分解能を実現している。

Multi-Beam Receiverによって一度に多く生成された受信ビームは、Multi-Harmonic Compoundingによって信号処理される。一つの走査線に対して

一対の送受信ビームで画像を生成するよりも、複数の異なる送受信ビームを重ね合わせることににより、強度が強く、鋭く、均一なビームの形成が可能になった。

スキャン面内のサイドローブと同様に、スキャン面と垂直のスライス厚方向のビームの広がりから混入する本来映像化すべきでない領域のエコーにより、アーチファクトの増大や画像の鮮明さを損なう原因となる。iBeam Slicingは、スキャン面と垂直方向のビーム幅を細く鋭くする技術であり、スライスの厚みをより薄く均一にすることにより、コントラストの良い鮮明な画像を描出することが可能となった。

スライスの厚みをより薄く均一にするために、新たにB-mode(2次元画像)のためのマトリックスプローブ(iDMSプローブ)を開発した。このプローブでは、スライスの厚みの方向にも振動子が分割されており、それぞれ独立な制御信号線が接続されている。従来はスライス面内のビーム形成はレンズによる一点固定フォーカスであったのに対して、走査線の全点に関してスキャン面内と同様に電子フォーカスが可能であり、送信開口直下からより薄く均一なスライスを生成することができる。

【結論】

これら技術により超高周波24MHzプローブは、これまでの分解能の限界を大きく超えた画像を提供することを可能にした。これまで見ることができなかった超高分解かつ鮮明な画像を得ることができるようになった。また、このプローブではプローブ本体の技術改良によっても超高周波でありながら従来の高周波プローブに匹敵する深部感度を実現することにも成功し、整形外科領域での日常臨床でのより詳細な診断のための画像情報の提供が期待され、超音波画像診断の精度と客観性を高めるとともに、診断学の発展の一助になると考えている。

Aplioはキャノンメディカルシステムズ株式会社の商標です。

High quality B mode Imaging Technology

Tomohisa IMAMURA, Satoshi MATSUNAGA, Tetsuya KAWAGISHI

Ultrasound Systems Division, Canon Medical Systems

93-運-027

運動器超音波の深部画像に貢献する高画質化技術 (eFocusing / Carving Imaging)

木村 剛, 川本 幸一郎, 藤井 信彦
日立製作所 ヘルスケアビジネスユニット

【背景】

近年、運動器超音波は整形外科領域の様々なシーンで使用され、その拡がりに伴い、超音波診断装置に求められるニーズも多様化、高性能化している。その中でも重要な要素である画質に関しては、以下のようなニーズが挙げられる。注射を用いる治療ガイドとして使用する場合、安全性と精度を向上するために、神経などの微小な組織を高い空間分解能で描出することが求められる。また、様々な部位の腱や筋肉の形態観察、動きの評価として使用する場合、リアルタイム性よく浅部から深部まで高い分解能を維持した画像を提供することが求められる。これらのニーズに対する効果が期待される技術として、ARIETTA 850（株式会社日立製作所）に搭載された2つの高画質化技術を紹介する。

【ARIETTA 850の高画質化技術】

・ eFocusing

従来の送信ビームフォーミングでは、フォーカス点のビーム幅を狭くすることで方位分解能を向上することができるが、フォーカス点から離れた深度では方位分解能が劣化するため、観察部位に応じてフォーカス深度を調整する必要がある。観察部位の範囲が浅部から深部まで広い場合は、複数のフォーカス点でBモード画像を形成する方法もあるが、複数回の送信を必要とするためフレームレートとトレードオフとなる問題があった。

これに対し、eFocusing技術は、多方向同時受信を用いて、フレームレートを低下することなく送信フォーカス依存性を低減する技術である。1回の大口径送信で多方向、広範囲の受信信号を得て、その受信領域が重なるように位置をずらした複数回送信により得られる受信ビームを合成してBモード画像を形成するため、送信に依存しない浅部から深部までの高い空間分解能、複数受信信号を用いることによる高い信号雑音比、大口径での送信による高い深部感度の画像を提供することが可能である。

・ Carving Imaging

Carving Imaging は、組織構造の視認性の良さを追求した画像処理であり、組織構造特性を空間的に解析し、エッジ強調、構造のつながり向上およびノイズ除去の処理を行うことで、明瞭な形態描出を実現し、ノイズレスでクリアな画像を提供することが可能である。

【まとめ】

ARIETTA 850に搭載された高画質化技術eFocusingおよびCarving Imagingを組み合わせることで、運動器超音波に求められる画質性能である、浅部から深部までの高空間分解能、高コントラスト分解能、高い深部感度で組織構造の視認性が良好なBモード画像の提供が期待できる。

High image quality technologies that contribute to deep imaging in musculoskeletal ultrasound, eFocusing and Carving Imaging

Tsuyoshi KIMURA, Koichiro KAWAMOTO, Nobuhiko FUJII
Healthcare Business Unit, Hitachi, Ltd.

93-運-028

筋評価における羽状角の自動計測に関する基礎検討

高木 一也, 武田 義浩
コニカミノルタ ヘルスケア事業本部 超音波事業統括部

【背景】

超音波診断装置による筋・腱などの軟部組織の動的評価が試みられているが、その一つに羽状筋における羽状角の評価がある。羽状角は筋出力を示す指標として、トレーニングや萎縮などの際に用いられる筋厚と比較して機能評価に有用であると報告されている。しかしながら、その評価は主観的であり、客観的な評価が求められているが、客観的な評価には手動で角度を入力する必要がある、評価効率の向上が課題である。今回、評価効率を向上すべく、画像処理による羽状角の自動計測を検討した。特に、筋束の角度について評価したので報告する。

【方法】

使用した超音波診断装置はコニカミノルタ社製SniBLEとリニアプロープL11-3である。健康者5名の腓腹筋の長軸像を描出し、両手を机に置いた状態で、足台に踵をつかない状態で膝伸展による片脚立位の体勢で最大底屈から最大背屈の動作を3回繰り返した動画を保存した。底背屈の速度は約2-3秒、取得動画のフレームレートは30fpsとした。

画像処理による自動計測は輝度勾配検出をベースにした処理で実施した。具体的には、①筋束内に配置した関心領域に含まれる各画素について、Bモード画像の輝度の勾配方向と勾配強度を算出した後、②勾配強度による重みづけを行った勾配方向ヒストグラムを作

成し、③勾配方向ヒストグラムの最頻値を筋束の角度として算出する、3ステップで構成した。

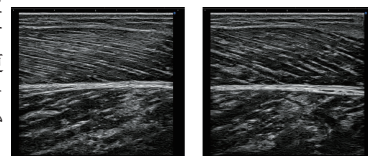
自動計測の性能は手動入力した筋束の角度との誤差で評価した。

【結果】

自動計測の誤差は、被検者5名の平均値で1.8度（手動入力値との比で14%）であったが、底背屈の時相依存性が強く、各被検者の最大誤差で見た場合、5名の平均値は5.1度（手動入力値との比で43%）であった。また、筋束の角度は自動計測で10.7度、手動入力では12.1度と、自動計測の方が低値であった。相関係数については0.92であった。

【考察】

自動計測と手動入力の結果の相関は高く、底背屈による筋束変化は捉えられていたと考えられるが、角度の絶対値については手動入力に比べると全体に低値で、特に底屈時の誤差が大きくなっていた。これは、腓腹筋の底屈時における筋束の描出が悪くなることから、関心のある筋束が相対的に減り、誤差が大きくなっていたことが考えられる。更なる性能向上には、Bモード画像の描出に依存しない手法確立が必要となる。



A Basic Study on Automated Measurement of Pennate Angle in Muscle Evaluation

Kazuya TAKAGI, Yoshihiro TAKEDA
Ultrasound Business Operations, KONICA MINOLTA, INC.

93-運-029

次世代移動通信 5G における超音波の位置づけと役割

松崎 正史

ソニックジャパンホールディングス

【はじめに】

次世代移動通信方式「5G」が2020年日本で本格導入が始まる。2020年は、5GにAI (Artificial Intelligence) やIoT (Internet of Things) との組み合わせによって「第4次産業革命」と捉えて、既存のビジネスが大きく変革する元年ともいわれている。5Gは、医療分野においても未来で起きうると予想されていた診療・治療・教育システムを、一気に現実味を帯びさせるものである。今回、超音波が5Gの環境における医療の世界での位置づけと役割について解説する。

【5Gで何がかわるのか】

移動通信の進化は、移動情報の進化でもある。スタートは音声であったが、メールによる文字、さらには画像、動画などの映像へと大容量の情報が移動しながら簡単に手に入るようになった。移動通信と並行して進化したものが、AIとIoTである。AIには、音声や画像からヒトが識別できるように膨大な時間がかかる、もしくは見過ごしてしまう情報を瞬時に抽出して解析する技術がある。理化学研究所と国立がん研究センターは、AIを用いた画像認識技術により早期胃がんに対して陽性的中率93.4%、陰性的中率83.6%という高精度の検出法について報告している。IoTは、身の回りにあるすべてのものがインターネットに接続できる情報端末とし進化している。スマートウォッチは、ヘルスケアデバイスとした新しい医療情報センサーであり、今後はウェアラブルデバイスによる情報端末が医療分野で大きな位置づけとなる。IoTによるセンサーから提供される大量の情報と瞬時にデータ解析するAIを5Gが結びつけることで、今までにない価値を生み出すものと考えられる。

How dose the ultrasound device work in 5G mobile communication system?

Masashi MATSUZAKI

Sonic Japan Holdings

【5Gで変わる医療サービス】

5Gによってもたらすメリットは、超高速通信速度 (100倍の通信速度)、超低遅延 (10倍の操作精度)、多数同時接続 (100倍以上の端末と接続) である。5Gで起きる医療での変革は遠隔医療である。患者さんは、ウェアラブルヘルスケアデバイスからの情報で健康管理が行われ、リアルタイムコミュニケーションによって外来に訪れることなく自宅で今まで以上の医療サービスを受けることができる。もう一つの変革は救急医療である。救急搬送しながら、患者さんの既往歴や投薬情報とリアルタイムのバイタル情報に加え高精細カメラによる画像情報との組み合わせで、瞬時に的確な搬送先情報を入手する。また、搬入先では最新の患者さんの情報が共有され、万全な治療体制を事前に整えることができる。状況によっては、救急搬送中に遠隔操作によるロボットで緊急手術も可能とする世界である。

【5Gにおける超音波の位置づけと役割】

超音波の非侵襲的に、かつ簡単に得られるダイナミックな情報は、5Gの環境によって大きな変革が起きると考える。既に、超音波診断装置は汎用のスマートデバイスで動作する環境が実現しており、ブロープ走査を遠隔で行うことで高いテクニックによる超音波検査は場所、時間の制約がなくなる。また、聴診器の音を可視化し診断能力を向上させる超小型のウェアラブルデバイスが登場しており、サルコペニアに対して超音波の画像情報を越えた筋の動的情報を可視化するウェアラブルデバイスとAIとの組み合わせによって、運動器不安定症候群への早期発見とした「検診」から健康増進がゴールである「健進」への活用が期待できる。超音波は、生活に密着した医療情報センサーとしてさらに進化を続けるものと考えられる。

93-運P-001

超音波の振幅・位相を用いた生体組織の粘弾性特性計測に関する基礎的検討

荒川 元孝^{1,2}, 金井 浩^{1,2}¹東北大学 医工学研究科, ²東北大学 工学研究科

【目的】

病変の進行に伴い、生体組織の粘弾性特性は変化するため、その評価は重要となる。我々の研究グループでは、超音波トランスデューサと複数の伝播媒質を音響伝送線路モデルで考えることによる薄層内の伝播時間推定の高精度化[1]や超音波トランスデューサの狭帯域特性の改善に関する検討[2]を行ってきた。本報では、超音波トランスデューサから対象物までの複数の媒質を音響伝送線路モデルで考えたときの粘弾性特性推定法に関して、基礎的な検討を行った。

【原理・方法】

媒質 i の複素音響インピーダンス Z_i は、 $Z_i = (c_i + j\omega\eta_i)^{1/2}$ と表される。ここで、 c_i は弾性率、 η_i は粘性率、 ω は角周波数である。媒質 i から媒質 j をみた音圧の複素反射係数 R_{ij} は、 $R_{ij} = (Z_j - Z_i)/(Z_j + Z_i)$ と表される。このため、媒質 i の音響インピーダンス Z_i が既知であれば、 R_{ij} の振幅・位相を計測することにより、媒質 j の音響インピーダンス Z_j を推定することが可能である。

計測には、橈骨動脈の粘弾性特性を求めるために開発したリニアアレイブロープを用いた[3]。本ブロープは、中央1素子を超音波の送受信から独立させている。ネットワークアナライザとSパラメータテストセットを用い、中央1素子で超音波の送受信を行なった。ネットワークアナライザのタイムドメイン機能を用いることによ

り、所望の深さの信号を抽出した。また、残りの素子を超音波診断装置に接続し、Bモード像を取得した。これより、Bモード像で対象物の状況を確認しながら、所望の深さの複素反射係数を計測し、粘弾性特性の推定を行うことが可能となる。

【まとめ】

音響伝送線路モデルに基づき複素反射係数を計測することにより、複素音響インピーダンスを計測する方法を検討した。今後、ファントムを用いた基礎実験により原理を実証する予定である。

【参考文献】

- [1] T. Kimura, H. Kanai, and N. Chubachi, IEICE Trans. Fundamentals, Vol. E78-A, pp. 1677-1682 (1995).
- [2] 木村, 浅井, 金井, 中鉢, Jpn. J. Med. Ultrasonics, Vol. 23, pp. 411-422 (1996).
- [3] M. Arakawa, T. Saito, S. Mori, S. Ohba, K. Kobayashi, and H. Kobayashi, Sens. Actuators A: Phys., Vol. 297, 111487 (2019).

Basic study on viscoelastic property measurements of biological tissue using ultrasonic amplitude and phase

Mototaka ARAKAWA^{1,2}, Hiroshi KANAI^{1,2}¹Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University, ²Graduate School of Engineering, Tohoku University

93-運P-002

超音波照射下における骨格筋細胞の筋合成活性

氏政 かりん¹, 市川 寛¹, 古屋 元秀¹, 南山 幸子², 秋山 いわき¹¹同志社大学大学院 生命医学研究科, ²京都府立大学大学院 生命環境科学研究科

【目的】

加齢性筋減弱症（サルコペニア）予防は超高齢社会の日本にとって重要であるが、運動以外の予防法は確立されていない。ところで、運動時の骨格筋では虚血再灌流の機序で活性酸素種（ROS）が産生されている。我々の先行研究では、骨格筋細胞を虚血再灌流に暴露させた場合にmTOR系を介した筋タンパク合成促進を確認し、同時に低濃度の外因性H₂O₂刺激により同様の現象を確認した。そこで、超音波照射により発生するキャビテーション気泡の化学反応によってROSが発生することから、特にH₂O₂に着目し、超音波照射によるROS発生と筋合成活性の関与について検討した。

【実験方法】

マウス骨格筋芽細胞（C2C12）をウマ血清含有培地によって筋管細胞に分化したものを使用した。

①超音波照射条件の検討

超音波照射の実験系を図1に示した。直径35 mmのディッシュに細胞を培養し、ディッシュを水面に設置して、直径30 mmの平面型超音波振動子をディッシュの底面との距離50 mmに配置した。照射条件は周波数 1 MHz, Duty比 10%に固定し、最大負音圧 0.81 MPa, 最大照射時間 20 secとして音圧および照射時間による筋タンパク合成発現の相違を検討した。

②筋タンパク合成の評価

超音波照射を行ったC2C12筋管細胞のタンパク発現量を、タンパク合成に関与する因子（p-70 S6K, phospho-p70 S6K）の抗体を用いて、Western blot法により検討した。

③萎縮筋管細胞の作成

筋管化したC2C12に10 μM Dexamethasoneを24時間添加し、筋萎縮を誘導

した。

④超音波照射によるROS生成と筋タンパク合成の関与

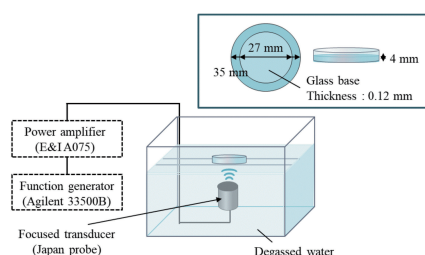
培地に超音波照射し、Red Hydrogen Peroxide Assay Kitを用いて培地中のH₂O₂濃度を測定した。さらに、H₂O₂消去剤としてCatalase（10, 100, 1000 U/mL）をディッシュに添加した状態で超音波照射を行い、ROSの消去により筋タンパク合成発現が抑制されるか検討した。

【結果】

0.81 MPa, 10 secの条件下における超音波照射では、非照射群と比較して、低い細胞障害率で筋タンパク合成発現が有意に上昇した。また、萎縮筋管細胞の筋タンパク合成発現は低下したが、この筋タンパク合成発現は超音波照射によって回復し、100 U/ml以上のCatalase添加によって抑制される傾向を示した。

【結論】

骨格筋細胞への適切な条件下での超音波照射は筋合成活性を促進することが示された。また、超音波照射によって培地中で発生するROSが筋管細胞の筋合成活性の促進に関与する可能性が示唆された。



Muscle synthesis of skeletal muscle cells under ultrasound irradiation

Karin UJIMASA¹, Hiroshi ICHIKAWA¹, Motohide FURUYA¹, Yukiko MINAMIYAMA², Iwaki AKIYAMA¹¹Graduate School of Life and Medical Sciences, Doshisha University, ²Graduate School of Life and Environmental Sciences, Kyoto Prefectural University

93-運P-003

連続せん断波映像法におけるせん断波伝播図の活用

田中 愛理¹, 伊賀 賢一¹, 白沢 有理沙¹, 金谷 裕司², 倉品 渉³, 紺野 啓⁴, 谷口 信行⁴, 山越 芳樹¹¹群馬大学 大学院理工学府, ²自治医科大学 整形外科, ³とちぎメディカルセンターしもつがリハビリテーションセンター,⁴自治医科大学 医学部臨床検査医学講座

【目的】

我々が提案した連続せん断波映像法（C-SWE）ではせん断波の伝播速度図の他に、せん断波が伝播する様子を波面の動きとして動画表示する伝播図が得られる。この伝播図を用いると波面間隔から局所的な伝播速度が、波面の傾きからせん断波の伝播方向が、波面の湧き出しや吸い込みの様子から映像面に対して法線方向の複雑なせん断波伝播が、組織境界を挟んだ伝播波面の位相ずれの大きさから境界面の機械特性（癒着等）が推定できる、など伝播速度だけでは得難い多くの情報が得られることが期待できる。本稿では連続せん断波映像法で得られる伝播図の活用について示す。

【原理・方法】

C-SWE法では、生体表面に置いた小型加振器で連続的なせん断波を励起する。せん断波が連続波であるので、狭帯域フィルタを用いて雑音除去が可能であること、また単一周波数であるので2次元せん断波位相図から速度図が解析的に得られるなど従来のSWEにない特徴を有している。また体表に張り付けた小型加振器でせん断波を励起させるので、SWEと比べてせん断波の振動振幅が大きい。このため高い信号対雑音比が期待できることも特徴である。ここで用いるせん断波の伝播図はせん断波の位相図から直接導出でき、動画像としてせん断波の波面の伝播を観察できる。

【せん断波の伝播図から可視化が期待されるパラメータ】

伝播図から得られる情報を表にまとめた。波面の間隔から局所的なせん断波の波長や伝播速度がわかる。一方、骨格筋への応用では筋膜を介した2層での波面の位相ずれから組織間の癒着の程度を推察することができる。さらに波面の湧き出しや吸い込みから映像面付近の異質な弾性構造によるせん断波の屈折や反射が、加えてせん断波の複雑な伝播経路から組織の微細な弾性構造が推察できる。C-SWE法では、CFI画像に現れるせん断波のVisibilityからせん断波の振幅の大きさを相対的に知ることができるのでせん断波の相対的な振幅より、せん断波の減衰や大きな弾性率を持つ構造を可視化できる。

【結論】

せん断波の伝播図は、単一周波数のせん断波を用いる連続せん断波映像法で再生できる特徴ある図である。これを利用することで、速度図だけでは得難い物

体の弾性に関する情報を得ることが期待できる。

波面の伝播	物理パラメータ	活用法
せん断波波面の間隔	波長から伝播速度（弾性）	弾性計測、異方性計測、非線形性計測
筋膜を介した波面の位相ずれ	組織間の結合の度合い	組織間の癒着評価
波面の湧き出し・吸い込み	映像面付近の弾性構造による屈折	映像面近傍の異なる弾性構造の可視化
波面の回転	線維など異なる弾性特性の存在	映像面法線方向にある線維等の構造
波面の傾き・複雑な伝播経路	屈折、散乱、反射	弾性率の違い、微細な弾性構造評価
せん断波の振幅	せん断波の減衰 大きな弾性率を有する構造	非常に硬い構造の可視化

Utilization of shear wave propagation map in continuous shear wave elastography

Airi TANAKA¹, Kenichi IGA¹, Arisa SHIRASAWA¹, Yuji KANAYA², Wataru KURASHINA³, Kei KONNO⁴, Nobuyuki TANIGUCHI⁴, Yoshiki YAMAKOSHI¹¹Graduate School of Science and Technology, Gunma University, ²Department of Orthopedic Surgery, Jichi Medical University School of Medicine,³Rehabilitation Center, Tochigi Medical Center Shimotsuga, ⁴Department of Clinical Laboratory Medicine, Jichi Medical University School of Medicine

93-運P-004

連続せん断波映像法の誤差要因と精度向上

白沢 有理沙¹、伊賀 賢一¹、田中 愛理¹、金谷 裕司²、倉品 渉³、紺野 啓⁴、谷口 信行⁴、山越 芳樹¹

¹群馬大学 大学院理工学府、²自治医科大学 整形外科、³とちぎメディカルセンターしもつがリハビリテーションセンター、

⁴自治医科大学 医学部臨床検査医学講座

【目的】

我々は、超音波映像装置のPRFで規定されるせん断波の周波数条件を満たす周波数で生体表面から加振を行うと、CFL上に生体組織を伝播するせん断波の波面が流速0と最大値の2値画像として現れることを利用した連続せん断波映像法(C-SWE)を提案した。しかしこの方法を骨格筋や腱など運動器で高精度かつ再現性の高い測定を行うおうとすると測定上の多くの課題がある。例えば、プローブ位置の再現性をいかに確保するか、せん断波を励起する加振位置をいかに設定しその再現性を高めていくかなどの問題である。本稿では、この映像法による組織弾性評価での再現性や定量性を劣化させる要因と我々が導入した対策について示す。

【方法】

C-SWEを用いた測定において、計測精度や再現性の高めるために望ましい条件を列記すると、①異方性がある筋や腱では線維方向を考慮してせん断波を伝播させる、②せん断波が測定領域内を平面波で伝播している、③せん断波が定在波を形成していない、④せん断波の振動振幅が十分な大きさを持つ、⑤速度較正がなされている、⑥リハビリテーション等での応用では長期間にわたる測定の再現性が確保されていること、などである。これら条件を満たすために我々は測定においていくつかの手法を導入した。これを表に示す。プローブの位置・角度の再現性を確保するために任意時点のBモー

ド画像を画面上に参照画像として表示する機能を付加し参照画像と現時点のBモード画像を比較することでプローブ位置の再現性を高めた。さらにせん断波を平面波で伝播させるためにC-SWE法で再生されるせん断波波面の波面マップから波面が筋線維方向に伝播する平面波であることの指標(SWDI)を計算しこの値が95点以上の場合に測定を行うようにした。またせん断波の定在波を除去し進行波成分のみを抽出するように適応的方向性フィルタを導入したが、これはS/Nと伝播方向に応じてフィルタ重みを適応的に変化させる2次元Wienerフィルタである。測定データの較正については分散性の小さい硬さの異なるファントム(アルギン酸ナトリウムファントム)を作成しSWEの速度測定値を較正基準として用いた。

【結論】

これらの対策を行った上腕二頭筋での測定において同一検査者の測定の変動係数は4.85%にまで低減することができ、測定の種々の誤差要因に対して対策を行うことで再現性のある測定が実現できると考えられた。

求める条件	課題	対策
①線維方向へ伝播	プローブ位置・角度	参照画像での再現性向上 測定部固定治具
②平面波で伝播	加振位置	波面の実時間可視化
③定在波形成なし	評価法の導入	体表への加振器貼り付け
④十分な振幅	進行波の抽出法	SWDIによる波面傾き評価
⑤速度推定の精度向上	プレコンプレッション	方向性フィルタの導入
⑥長期間にわたる再現性の確保	速度較正	圧迫圧低減保持法
	被検者の姿勢	SWEとの速度較正
		Resting Stateで測定

Error factors and accuracy improvement of continuous shear wave elastography

Arisa SHIRASAWA¹, Kenichi IGA¹, Airi TANAKA¹, Yuji KANAYA², Wataru KURASHINA³, Kei KONNO⁴, Nobuyuki TANIGUCHI⁴, Yoshiki YAMAKOSHI¹

¹Graduate School of Science and Technology, Gunma University, ²Department of Orthopaedic Surgery, Jichi Medical University School of Medicine,

³Rehabilitation Center, Tochigi Medical Center Shimotsuga, ⁴Department of Clinical Laboratory Medicine, Jichi Medical University School of Medicine

93-運P-005

腹部超音波検査時における検査者の身体負担の定量評価

丸山 勝¹、森 貴子¹、中林 智保子¹、下村 義弘²

¹東京通信病院 臨床検査科、²千葉大学 大学院工学研究院

【はじめに】

我々は第39回～第44回日本超音波検査学会にて、腹部超音波検査時における検査者への身体負担について体位変換やベッド高調整による軽減効果の検討や、検査者の身体寸法による身体負担に違いなどについて報告してきた。これまでは、筋電図や体幹角などを用いて評価してきたが、近年導入されているシェアウエーブエラストグラフィー(SWE)を用いた筋硬度の報告もあることをから、SWEも合わせ身体負担の評価を行った。

【対象】

超音波検査を開始して1年程度の、肩や腰にコリがない20歳代女性1名とした。

【方法】

対象者に超音波検査を模擬的に8回施行してもらい、検査前と検査後ごとの計9回、SWE・筋硬度計・筋電図を計測した。対象とした骨格筋は、右脊柱起立筋・右僧帽筋・左右尺側手根屈筋とした。SWEと筋硬度計は5回計測しその平均値を用いた。筋電図は最大下随意収縮時筋電位(RVE: Reference Voluntary Electrical activity)を2秒間計測しその二乗平均平方根(RMS: Root Mean Square granularity)値を検討した。SWE測定時は、筋電図で脱力状態を確認した。SWE測定時の筋電図は、左右尺側手根屈筋は最大随意収縮時筋電位(MVE)の30%以下、右僧帽筋はMVEの10%以下、右脊柱起立筋は初回計測時RVEの12%以下であった。RVEの計測は、尺側手根屈筋は2Kgの重りを持った状態で手掌を尺屈させる、僧帽筋は5Kgの重りを持った状態で肩を挙上させる、脊柱起立筋は約45度前屈させる、ことで行った。得られた値について、ピアソンの積率相関を用いて相関分析を行った($p<.05$, $0.4<|r|$ 相関あり)。また8回の走査後に、主観的評価であるVisual Analogue Scale (VAS)法を用いて腰と肩および両腕の疲労感を評価した。

【結果】

SWE: 右脊柱起立筋で有意傾向に増加し($r = 0.60$, $p = 0.089$)、他の筋は $p > 0.1$ で有意な相関は認めなかった。筋硬度計: 右尺側手根屈筋で有意に増加し($r = 0.76$, $p = 0.018$)、他はすべて $p > 0.1$ で有意な相関は認めなかった。筋電図: 右尺側手根屈筋で有意に増加し($r = 0.70$, $p = 0.035$)、他はすべて $p > 0.1$ で有意な相関は認めなかった。VAS法の結果は、腰: 0、右肩: 25、右腕: 88、左腕: 0であった。

【考察】

筋出力は疲労の影響を受け、同じ力を発揮する場合に疲労するほど発火頻度と動員する運動単位を増加させる必要がある。VAS法で右尺側手根屈筋に強い疲労を感じていたが、筋硬度計と筋電図で超音波検査を繰り返すと有意に増加した。SWEでは有意ではなかったが、筋電図の電極に近接して探触子を手動的に設置したため、筋への入射角が安定しなかった可能性がある。次回以降の実験では、安定して探触子を設置出来るような工夫が必要である。VAS法で腰に疲労を感じていないにもかかわらず右脊柱起立筋にSWEで有意であったが、肩や腰の主観的なことと筋硬度とは相関しないとの報告もあり、疲労が蓄積しても感じていなかった可能性がある。筋硬度計で有意でなかったが、筋硬度計の場合は深さ方向の積算の値であることが影響している可能性がある。また急性の浮腫性の筋腫脹のあらわれ方が、筋間で異なる可能性もある。尺側手根屈筋の場合は、背側に筋とはほぼ平行に尺骨があり安定しているが、脊柱起立筋の背側には筋と直角方向に腰椎の横突起があり、安定しない可能性がある。

【結語】

SWE・筋硬度計・筋電図を用いて、腹部超音波検査における疲労の蓄積を評価した。今回の実験結果と反省点を踏まえ、今後はアシストスーツ等の補助器具を用いての、身体負担軽減効果を検証したい。

Quantitative evaluation of examiner's physical burden during abdominal ultrasonography

Masaru MARUYAMA¹, Takako MORI¹, Chihoko NAKABAYASHI¹, Yoshihiro SHIMOMURA²

¹Clinical Laboratory, Tokyo Teishin Hospital, ²Graduate School of Engineering, Human Life Engineering Laboratory, Chiba University

93-運P-006

超音波照射によって海綿骨で発生する圧電信号の観測

細川 篤

明石工業高等専門学校 電気情報工学科

【目的】

骨の生成には、骨の圧電特性が関連していると考えられている。そのため、超音波照射による骨折治療すなわち骨生成促進をより効率的に行うためには、骨の圧電特性を把握することが重要となり得る。しかし、超音波（高周波）帯域における骨の圧電特性は十分に解明されておらず、特に、複雑な多孔性構造を有する海綿骨の圧電特性についてはほとんど明らかになっていないと言える。本研究では海綿骨の圧電特性の解明を目的として、超音波照射によって生じる圧電信号の観測を行い、その特徴について調べた。

【方法】

海綿骨における圧電信号の観測は、板状の海綿骨試料を圧電素子とみなした一種の超音波センサ（「圧電セル」と呼称）[1]を用いて行った。圧電セラミックスを用いた超音波送波器から圧電セルに向けて超音波を照射し、圧電セルからの出力信号を海綿骨試料で発生した圧電信号として観測した。超音波送波器には、周波数2 MHz、波数10のバースト正弦波電圧を入力した。海綿骨試料は、ウシの大腿骨下端部から切り出したものを用いた。試料の厚さは約10 mmであり、その方向（超音波照射方向）が骨梁の配向と一致するようにした。また、間隙中の骨髓を除去して、代わりに超音波特性が類似している（脱気）水で満たした。

【結果】

照射超音波信号および圧電信号の波形を図に示す。圧電信号波形は間隙率が0.65（65%）の場合の波形であり、その振幅は照射超音波信号の最大振

幅で正規化している。圧電信号の振幅は極めて小さく、圧電感度を計算すると約0.5 nV/Paとなった。この感度は、皮質骨の圧電感度[2]の1/10程度に相当する。また、圧電信号振幅（圧電感度）は海綿骨試料によって幅広く変化し、間隙率や骨梁構造に依存することも示された。さらに、照射超音波信号と比較して、圧電信号の過渡応答が悪く（継続時間が長く）波形形状が異なっている。なお、海綿骨試料によっても波形形状は変化した。これは、海綿骨中の超音波挙動（反射や散乱）によるものであり、骨梁構造に依存すると考えられる。

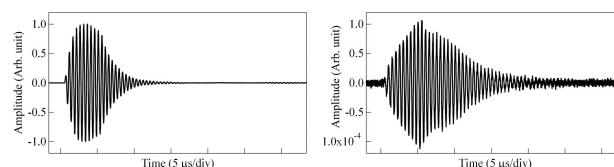
【結論】

超音波照射時に海綿骨で発生する圧電信号は極めて微弱であり、海綿骨の圧電感度は皮質骨の1/10程度となった。さらに、圧電信号は間隙率や骨梁構造に依存して変化することが示唆された。

【参考文献】

[1] A. Hosokawa, J. Acoust. Soc. Am. 140, EL441-EL445 (2016).

[2] M. Okino, et al., Appl. Phys. Lett. 103, 103701 (2013).



Observation of piezoelectric signals in cancellous bone generated by ultrasound irradiation

Atsushi HOSOKAWA

Department of Electrical and Computer Engineering, National Institute of Technology, Akashi College

93-運P-007

整復が必要な踵骨骨折に対する超音波ガイド下ブロックの有効性

金谷 裕司¹, 渡邊 英明¹, 竹下 克志¹, 紺野 啓², 谷口 信行²¹自治医科大学附属病院 整形外科医局, ²自治医科大学附属病院 臨床検査医学

【目的】

踵骨骨折の治療には、保存的加療と、手術加療の大きく2つの治療法があるが、いずれの治療を選択する場合でも、初期整復が重要になってくる。そもそもどんな部位の骨折治療においても、転位がある場合はまず整復操作が必要である。踵骨骨折においては大本法が代表的な方法であるが、受傷後に痛みが強い場合は整復操作で更なる痛みを与えてしまうこと、また緊張などが伴い、思うような整復操作ができないことが多々ある。そこで本来全身麻酔や、腰椎麻酔が選択される踵骨骨折に対して、超音波ガイド下に神経ブロックをした上で骨折整復を行いその有効性を調査すること。

【対象と方法】

2013年1月から2019年11月までに、転位をともなう踵骨骨折を受傷し、超音波ガイド下に神経ブロックを行い、整復操作を必要とした9人（男7, 女2）、12足を対象とした。平均年齢は52.2（31～81）歳であった。レントゲン評価として、これらの整復前後のBA（bohrer angle）、CA（crucial angle）を計測し、痛みの評価としてブロック前後のVAS（Visual Analogue Scale）、また整復時のブロック有効度と、水泡の出現程度を調査した。

【結果】

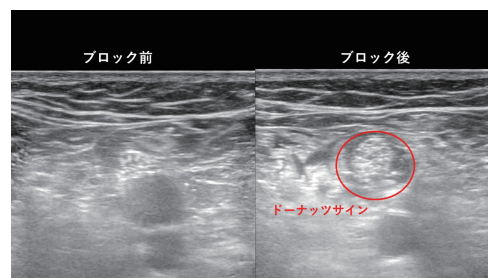
BAは整復前が 3.4 ± 13.0 度であり、整復後は 15.1 ± 9.4 度であった（ $P=0.003$ ）。CAは 123 ± 20.2 度から 122.8 ± 14.9 度であった（ $P=$

0.91）。受傷時のVASは 8.3 ± 0.8 であり、ブロックを行い整復後のVASは 1.8 ± 1.1 まで鎮痛された（ $P=0.002$ ）。

整復時のブロック有効度は全く痛みのないGrade1が9/12足（75%）であり、多少の痛みはあるものの追加麻酔不要であったGrade2が3/12足（25%）であった。これ以上疼痛の強かったGrade3以上はなかった。水泡は2/12足（12%）で水泡がみられた。

【結語】

踵骨骨折に徒手整復を行う際に、超音波ガイド下神経ブロックを行うことで、良好なBA角の整復位が得られた。また、整復中にも十分な鎮痛効果を得ることができ、また整復後には骨折部の疼痛も軽減することができた。



Effectiveness of Ultrasound-guided nerve block for calcaneal fractures requiring reduction

Yuji KANAYA¹, Hideaki WATANABE¹, Katsushi TAKESHITA¹, Kei KONNO², Nobuyuki TANIGUCHI²¹Department of Orthopaedic Surgery, Jichi Medical University, ²Department of Laboratory Medicine, Jichi Medical University

93-運P-008

左母指巨指症を伴う fibrolipomatous hamartoma の一例

吉田 美貴¹, 齋田 司¹, 佐々木 薫², 上牧 隆³, 橋本 涼典⁴, 森 健作¹, 増本 智彦¹, 南 学¹¹筑波大学附属病院 放射線診断・IVR, ²筑波大学附属病院 形成外科, ³筑波大学附属病院 検査科, ⁴筑波大学附属病院 病理診断科

生下時より左母指巨指症のある26歳男性。左正中神経領域のしびれを主訴に前医を受診。MRIにて左正中神経のfibrolipomatous hamartoma（脂肪線維腫性過誤腫）が疑われ、精査加療目的に当院紹介受診した。治療前の症状は左中指・環指のしびれで、手関節部のtinel signは陰性であった。手根患部のしびれはなく、Phalenテストも陰性であった。患部の造影MRIでは左正中神経の肥大を認め、特に第1指で著明であった。超音波検査では左正中神経線維の腫大と脂肪組織の増生を認めた。腫大した正中神経の厚みは過伸展で縮小した。パルスドプラーでは脂肪組織内に拍動性の動脈血流を認め、過伸展で血流は減少し、正中位で増加した。検査時には過伸展時にしびれと疼痛の誘発があり、上記の超音波所見は症状に関連すると考えられた。巨指症形成術が行われ、末節部尺側皮膚を切除すると、皮膚に直接流入する肥大化した神経を2本認め、これを焼灼し切離した。病理に提出した皮膚切除標本では皮下から連続する索状物があり、中心部には末梢神経組織が見られ、その周囲には脂肪組織ないし線維性組織や小血管が取り囲むように認められた。この所見はfibrolipomatous hamartomaに矛盾しない所見であった。現在、左手の症状は軽微で、神経剥離や減張術は施行せずに外来で経過をみている。

fibrolipomatous hamartomaは線維脂肪組織の過形成を病態とするまれな良性腫瘍で、末梢神経の中でも一般的には上肢、特に正中神経に

影響を及ぼし、しびれや疼痛などの症状を生ずる。この疾患の1/3は巨指症を合併する。今回我々はfibrolipomatous hamartomaという稀な疾患の詳細な超音波所見を得ることができたため、若干の文献的考察を加えて報告する。

A case of fibrolipomatous hamartoma with left thumb finger macrodactyly

Miki YOSHIDA¹, Tsukasa SAIDA¹, Kaoru SASAKI², Takashi KAMIMAKI³, Ryosuke HASHIMOTO⁴, Kensaku MORI¹, Tomohiko MASUMOTO¹, Manabu MINAMI¹¹Department of Radiology, Tsukuba University Hospital, ²Department of Plastic Surgery, Tsukuba University Hospital, ³Department of Clinical laboratory, Tsukuba University Hospital, ⁴Department of Pathology, Tsukuba University Hospital

93-運P-009

超音波画像による嚥下機能に関わる舌骨上筋・下筋群の評価

寺島 健¹, 吉崎 直人², 片桐 啓之³, 五十嵐 春菜⁴¹JA 新潟厚生連 小千谷総合病院 生理検査室, ²JA 新潟厚生連 小千谷総合病院 耳鼻咽喉科,³JA 新潟厚生連 あがの市民病院 リハビリテーション科, ⁴JA 新潟厚生連 小千谷総合病院 リハビリテーション科

【緒言】

我が国の65歳以上の高齢人口は増加の一途を辿り、2040年には約4,000万人、人口比率36%に達すると予測されている。超高齢社会を迎える現在、膨大な社会保障費の財源確保、高齢社会の環境作り、寝たきり予防など様々な対策が講じられている。高齢者は認知症、血管性疾患、慢性疾患など様々な疾患への罹患率が高まる一方、加齢に伴う筋肉量低下からサルコペニアやロコモシンドロームによって身体機能の恒常性維持が困難なフレイルに陥入り、寝たきりや要介護の確率も高まる。その結果、身体面だけでなく、認知症進行や鬱などの精神・心理的問題、閉じこもりや独居、経済的困窮などの社会的問題も生じ得る。身体的機能の低下や筋肉量低下は、人間が生きていく上で欠かせない摂食嚥下機能も障害し、その結果、体力低下や低栄養、誤嚥性肺炎を引き起こす要因となる。今回、嚥下に関わる筋肉を超音波診断装置で計測し、筋肉の厚さと嚥下機能の関連性について検討した。

【対象と方法】

嚥下障害、嚥下困難患者32名（男性23名、女性9名）、年齢82歳±9.6を対象とした。方法は超音波診断装置（Canon Aplio400 TUS-A400）高周波リニアプローブ（PLT-1204BT 12MHz）を用いて、嚥下動作に関わる舌骨上筋（顎舌骨筋・オトガイ舌骨筋）、舌骨下筋（肩甲舌骨筋、胸骨舌骨筋）それぞれ左右筋肉径の平均計測結果と、年齢、性別、VE（Videoendoscopic Examination of swallowing：嚥下内視鏡）による兵頭スコア（嚥下障害4評価0~3採点：4点以下嚥下問題なし）および言語聴覚士による摂食・嚥下能力評価の藤島グレード（10段階評価：正常10）について、それぞれ評

価した。

【結果】

顎舌骨筋1.9±0.5mm、オトガイ舌骨筋3.6±0.9mm、肩甲舌骨筋1.8±0.4mm、胸骨舌骨筋2.8±0.4mm、合計筋径2.5±0.4mmであった。それぞれとの相関結果は、年齢82歳±9.6（ $r=-0.48$, $p<0.01$ ）、性別（ $r=0.02$, $p=0.84$ ）、兵頭スコア7.2±2.2（ $r=0.01$, $p=0.95$ ）、藤島グレード4.4±2.0（ $r=0.06$, $p=0.73$ ）であった。

【考察】

年齢と筋肉径のみ相関を認め、年齢に伴い筋量が低下するサルコペニアの定義に一致した。女性より男性の筋肉量が多いと考えられるが、性別による相関は認めなかった。しかし、各々の筋肉径を比較すると、オトガイ舌骨筋のみ（ $r=0.23$, $p=0.21$ ）相関を認めた。兵頭スコアおよび藤島グレードに関しては、嚥下の一連動作、先行期、準備期、口腔期、咽頭期、食道期の過程の中で、神経、舌圧、嚥下反射、鼻咽腔閉鎖、咽頭、喉頭など複数の動作が関与するため、関連筋肉だけでは評価は出来ないと考えられる。

【結語】

今回は筋肉径のみの評価であったが、筋肉面積、超音波診断装置のMモードによる筋肉の経時的変化の観察も可能であると推測する。2025年、65歳以上の人口は約3,600万人となり、嚥下障害を引き起こす高齢者は530万人と見込まれている。今後、高齢者に対する疾患の検査が今以上に増えると予測され、低侵襲でリアルタイムな画像による超音波診断装置が、嚥下機能評価や未知の領域の診断に活用出来る事を期待する。

Evaluation of suprahyoid and infrahyoid muscle groups involved in swallowing function by Ultrasound imaging

Takeshi TERAJIMA¹, Naoto YOSHIZAKI², Hiroyuki KATAGIRI³, Haruna IKARASHI⁴¹Physiological Laboratory, JA Niigata Koseiren Ojiya General Hospital, ²Otorhinolaryngology, JA Niigata Koseiren Ojiya General Hospital, ³Rehabilitation, JA Niigata Koseiren Agano Municipal Hospital, ⁴Rehabilitation, JA Niigata Koseiren Ojiya General Hospital