

抄録

機器及び安全に関する
委員会企画

佐藤 蒼¹, 菅野 尚哉¹, 佐藤 泰¹, 山越 芳樹², 西條 芳文¹¹東北大学大学院医工学研究科 医工学専攻, ²群馬大学大学院 理工学府

【目的】

がんに関連する多くの病気が組織硬化性の疾患であり、生体組織の硬さの変化を伴うことが知られている。このような生体組織の硬さを測定する手法として近年、超音波を用いたエラストグラフィという技術が実用化されており、臨床においてその有効性が示されている。エラストグラフィにはひずみの分布を計測する手法と、せん断波の速度を計測する方法の2種類があるが、定量的な評価ができるという意味では後者の手法への期待が高まっている。せん断波の速度を計測する手法としては、せん断波の発生方法の違いから2種類に分類できる。それが集束超音波を用いた音響放射圧法と外部加振法である。前者の音響放射圧法は局所的な温度などが欠点として挙げられているが、後者は外部加振によりせん断波を発生させるため、生体組織への安全性が高い。これらの技術はすでに実用化されているものもあるが、より安価に簡単に硬さ推定を行う方法として先行研究[1]では従来の超音波診断装置と安価な加振器を用いた新たなエラストグラフィを提案した。しかし、先行研究では臨床で用いられる超音波診断装置を用いた計測を行っているため、基礎的な検証が不十分であるといえる。よって、本研究ではVantage256, Verasonics, Inc.を用いて先行研究の再現性の確認を行い、最適な画像化のための可能性を検証した。

【方法】

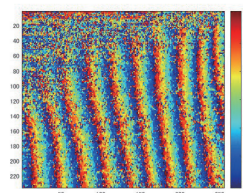
データの取得は超音波送受信装置Vantage256を用いて行い、プローブとしてリニアアレイを使用した。ファントムとしては蒟蒻を使用し、ファントムに対して加振器を用いてせん断波を発生させ、生じたせん断波を超音波送受信装置のカラードプラを用いてイメージングすることによってせん断波の波面を可視化した。また、取得したデータをMATLABによって解析し画像の再構成を行うことで、超音波送受信装置の照射シーケンスを変えた場合の硬さ推定への影響を調べた。

【結果】

先行研究において観察されていたせん断波の波面を、超音波送受信装置を用いた場合において確認した。また、超音波の照射シーケンスを変えた場合のせん断波の速度推定への影響について、推定値に大きな変化は見られなかった。

【結論】

先行研究において行われていたせん断波のイメージングを、超音波送受信装置を用いた場合に行うことができ、最適な画像化のための可能性が示された。



Basic study of shear wave imaging method using ultrasound

Aoi SATO¹, Naoya KANNO¹, Akira SATO¹, Yosiki YAMAKOSI², Yoshihumi SAIJO¹¹Department of Biomedical Engineering, Graduate School of Biomedical Engineering, Tohoku University, ²Graduate School of Science and Technology, Gunma University

山口 匡

千葉大学 フロンティア医工学センター

【背景】

臨床におけるShear Wave Elastography (SWE)の応用が進む中で、提示されるShear Wave Velocity (SWV)の値が絶対的なものであるか、メーカー間や検査者間での違いの程度などが十分に理解されていない。2007年にRadiological Society of North America (RSNA)の主導で開始されたQuantitative Imaging Biomarkers Alliance (QIBA)では、American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM)との連携によりSWEの標準化検討が進められている。また、国内においては医学放射線学会の主導で2015年にJ-QIBAが発足し、SWE委員はMR Elastography (MRE)委員と連携しての標準化活動を行っている。

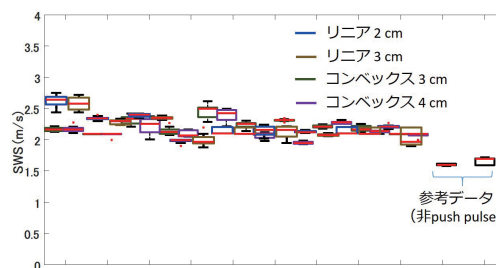
【目的と内容】

SWEにおいて、観察対象内の微小組織がShear Waveの伝搬に与える影響や、Push Pulse・Tracking Pulse・解析領域 (ROI)などの条件がSWVの評価に与える影響などについて、Finite Difference Time Domain (FDTD)法による計算機シミュレーションおよび臨床装置での検証などを行った。また、MRE / SWEの両用ファントムを評価対象とし、国内でSWEの臨床装置の開発・販売を展開する7メーカーの協力の下で、同一物質におけるSWV評価の機種依存性について検証した。この検討は、本会の機器と安全性に関する委員会 (委員長: 秋山いわき) 内のSWEの標準化に関する小委員会 (委員長: 山口匡, 委員: 飯島尋子, 岸本理和, 紺野啓, 椎名毅, 蜂屋弘

之, 山川誠, オブザーバ: 小島隆行, 菅幹生)とJ-QIBAの連携で行った。

【結果】

MRE / SWEの両用ファントムについて、多数機種の異なるプローブおよびROI深度でSWV評価した結果、総合的なばらつきは中央値の6%程度となった。これは、QIBAでの検討結果に比しても小さい値であり、検査条件を揃えて均質媒質を評価する際の機種依存性が高くないことを示している。より詳細に検査プロトコルの条件などを詰めるとともに、臨床からのアプローチとの連携を進める。



Consideration on stability of Shear Wave Elastography

Tadashi YAMAGUCHI

Center for Frontier Medical Engineering, Chiba University

飯島 尋子^{1,2}, 西村 貴士^{1,2}, 吉田 昌弘³, 東浦 晶子², 橋本 眞里子², 會澤 信弘¹, 波多野 悦朗³, 矢野 博久⁴, 鹿毛 政義⁵, 廣田 誠一⁶

¹兵庫医科大学 内科・肝胆脾科, ²兵庫医科大学 超音波センター, ³兵庫医科大学 肝胆脾外科, ⁴久留米大学 病理学講座,

⁵久留米大学 先端癌治療研究センター, ⁶兵庫医科大学 病院病理部

【背景】

Shear wave法による非侵襲的肝線維化診断は多くの超音波機器で可能となった。しかし、日常診療において広く普及しつつあるが、各機種ごとに剪断波の周波数や方法論が異なり、診断cut off値が異なり単純に比較できないことが問題である。

【目的】

各機種別の肝線維化診断能について検討した。

【方法】

1)2015年2月 から2015年8月 までに肝生検と同時に6機種(FibroScan502, ACUSON S2000/3000, EPIC 7, Aixplorer, Aplio 500, LOGIQ E9)で肝硬度を測定した109例(年齢中央値; 56歳, 男性/女性; 74/35人, HBV/HCV/B+C/nonBnonC; 24/45/1/39, F1/2/3/4; 45/21/29/14, A0/1/2/3; 3/59/45/2)について肝線維化診断能を検討した(Hepatology Research2019; 49: 676-686)。2)さらに症例を積み上げ、3機種(FibroScan502, ACUSON S2000/3000, Aplio 500/i800)で肝硬度を測定した慢性肝炎・肝硬変529例(年齢中央; 61歳, 男性/女性; 208/321人, HBV/HCV/B+C/nonBnonC; 104/ 233/ 192, F0/F1/F2/F3/F4; 26/ 226/ 113/ 112/ 52, A0/A1/A2/A3; 41/ 303/ 176/ 9)について肝線維化診断能を検討した。(TEはm/sで表示)。尚、各機種による肝硬度の記載はTE-Fib/SWE-ACUSON/SWE-EPIC/SWE-Aix/SWE-Aplio/SWE-LOGICとし、TEはm/sで表示した。

【結果】

1) 各機種の肝線維化診断能はF2≤で0.811-0.877, F3≤で0.843-0.872, F4で0.959-0.970と非常に良好で各機種間の相関係数も0.838-

0.965といずれの機種でも同様に肝線維化診断は可能であるが、cut off値はF2≤でTE-Fib/SWE-ACUSON/SWE-EPIC/SWE-Aix/SWE-Aplio/SWE-LOGICそれぞれ1.46/1.27/1.39/1.50/1.54/1.44, F3≤で1.43/1.43/1.39/1.70/1.64/1.83, F4で1.90/1.67/1.82/2.07/2.07/2.02と機種ごとに異なっていた。

2) F0/F1/F2/F3/F4別肝硬度(m/s)はTE-Fib; 1.30±0.29/ 1.34±0.30/ 1.54±0.37/ 1.98±0.63/ 2.75±0.73, SWE-ACUSON; 1.06±0.14/ 1.15±0.20/ 1.32±0.31/ 1.66±0.51/ 2.21±0.55, SWE-Aplio; 1.33±0.33/ 1.44±0.22/ 1.60±0.28/ 1.94±0.45/ 2.57±0.58であり、いずれの機種でもF因子の進展とともに肝硬度は有意に上昇した(F0-1間のみp<0.05, 他p<0.0001)。また各線維化程度別診断能(以下AUC)はF2≤でTE-Fib/SWE-ACUSON/SWE-Aplioそれぞれ0.812/ 0.813/ 0.832, F3≤で0.867/ 0.863/ 0.880, F4で0.934/ 0.927/ 0.945と非常に良好であったが、それぞれのcut off値(m/s)はF2≤でTE-Fib/SWE-ACUSON/SWE-Aplio: 1.56/ 1.31/ 1.58, F3≤で1.61/ 1.38/ 1.66, F4で1.83/ 1.45/ 1.87と(1)の結果と同様、各機種ごとに異なっていた。

【考察】

機種、肝線維化の程度によらずshear wave法による診断能は良好であったが、cut off値が異なることが非侵襲的肝線維化診断が煩雑となる原因のひとつであり、cut off値を統一することが汎用性につながる。

【結果】

いずれの機種でも肝線維化診断能は高いが、機種間の相違が課題である。

The diagnostic ability for the degree of liver fibrosis using shear wave elastography according to each ultrasound devices

Hiroko IJIMA^{1,2}, Takashi NISHIMURA^{1,2}, Masahiro YOSHIDA³, Akiko HIGASHIURA², Mariko HASHIMOTO³, Nobuhiko AIZAWA¹, Etsuro HATANO³, Hirohisa YANO⁴, Masayoshi KAGE⁵, Seiichi HIROTA⁶

¹Department of Internal Medicine, Division of Hepatobiliary and Pancreatic Disease, Hyogo College of Medicine, ²Ultrasound Imaging Center, Hyogo College of Medicine,

³Department of Surgery, Division of Hepatobiliary and Pancreatic Disease, Hyogo College of Medicine, ⁴Department of Pathology, Kurume University School of Medicine,

⁵Research Center for Innovative Cancer Therapy, Kurume University School of Medicine, ⁶Department of Surgical Pathology, Hyogo College of Medicine

古田 眞智¹, 山下 泰伸², 幡丸 景一², 井田 良幸², 清水 遼², 糸永 昌弘², 前島 秀哉², 岩橋 吉史³, 村田 晋一³, 北野 雅之²

¹和歌山県立医科大学 医学部臨床検査医学講座, ²和歌山県立医科大学 医学部内科学第二講座,

³和歌山県立医科大学 医学部人体病理学講座

【目的】

近年、肝領域において超音波断層法で評価した硬度と肝生検での組織線維化との間に相関があることが多数報告されている。一方、脾における硬度測定に関しては未だ報告は少ない。糖尿病患者の脾組織では、非糖尿病患者と比べラ氏島の硝子化、線維化、ラ氏島数の減少、間質の線維化などが高率に認められることが報告されていることから(宮地 徹, 糖尿病4: 11-18, 1961), 超音波断層法による硬度測定により評価した脾硬度と糖尿病およびインスリン分泌能との関連について検討した。

【方法】

脾硬度評価はARIETTA®850(日立製作所)に搭載したShear wave measurement (SWM)法で測定したVs値で行った。まず、脾切除例で術前に測定した脾実質のVs値と術後病理光顕所見での脾線維化の有無との検討を行った。次に、外来通院中の2型糖尿病患者201名(T2DM群: 男性105名, 女性96名), 非糖尿病患者142名(NDM群: 男性80名, 女性62名)においてVs値の比較を行なった。さらに、T2DM群においてVs値と空腹時血清Cペプチド(CPR)値との関連性を検討した。

【結果】

脾切除例での検討では、脾に線維化を認める例(線維占拠率≥10%)は、線維化をほとんど認めない例(線維占拠率<10%)に比べVs

値は有意に高値であった(1.76±0.27 m/s vs. 1.45±0.14m/s, p<0.001, n=21)。T2DM群と非DM群の2群のVs値の比較では、2群間に年齢およびBMIに有意差は認めなかったが、T2DM群のVs値は非DM群のVs値に比し有意に高値であった(1.70±0.29 m/s vs 1.47±0.17m/s, p<0.001)。さらに、T2DM群を空腹時血清CPR値により2群に分け(低CPR群: CPR<0.7ng/mL, 正常CPR群: CPR≥0.7ng/mL), 両者のVs値の比較を行ったところ、低CPR群のVs値は正常CPR群のVs値に比べて有意に高値であった(低CPR群: 1.98±0.3m/s vs 正常CPR群: 1.58±0.2m/s, p<0.01)。

【結語】

SWMにより測定したVs値は、NDM群に比べてT2DM群で高値を呈し、さらにT2DM群において、空腹時CPR値正常群に比べ低値群で高値を呈していたことから、2型糖尿病の病態において脾組織の線維化が関与している可能性が示唆された。

Usefulness of pancreas Shear Wave Elastography in Type 2 diabetes

Machi FURUTA¹, Yasunobu YAMASHITA², Keiichi HATAMARU², Yoshiyuki IDA², Ryo SHIMIZU², Masahiro ITONAGA², Hideya MAESHIMA², Yoshihumi IWAHASHI¹, Shin-ichi MURATA³, Masayuki KITANO²

¹Clinical Laboratory Medicine, Wakayama Medical University, ²Second Department of Medicine, Wakayama Medical University, ³Department of Human Pathology, Wakayama Medical University

正島 千夏¹, 平井 都始子², 小川 浩平¹, 浅田 秀夫¹¹奈良県立医科大学 皮膚科, ²奈良県立医科大学附属病院 総合画像診断センター

【背景・目的】

石灰化上皮腫は小児に好発する良性腫瘍である。触診では粉瘤や脂肪腫と比較すると硬く触れる。病理組織学的には好塩基性の毛母細胞様細胞と好酸性の陰影細胞から構成され、時間がたつと陰影細胞の割合が多くなり、やがて石灰化や骨化を伴うことがある。超音波検査でも時期に応じて超音波像が変化する。石灰化がすすんだ症例では超音波検査でも典型的な所見を認め、診断が容易であるが石灰化の乏しい症例では非典型的な所見を呈し診断に難渋することもしばしばである。

Shear Wave Elastography(SWE)を用いて粉瘤、脂肪腫、石灰化上皮腫の伝播速度を比較し、石灰化上皮腫における石灰化上皮腫の超音波診断におけるShear Wave Elastography(SWE)の有用性を検討した。

【対象・方法】

対象は当院で術前に超音波検査を施行し、病理組織診断が確定した表皮嚢腫29例、脂肪腫14例、石灰化上皮腫9例。超音波機器はGEヘルスケア・ジャパン社製のLOGIQE9の9Lプローブを使用し、Shear Wave Elastography(SWE)を施行した。全摘出後、病理組織検査と対比検討した。

【結果】

伝播速度(平均値±SD)はそれぞれ粉瘤 4.7 ± 1.83 m/s、脂肪腫 1.87

± 0.49 m/sで、石灰化上皮腫 6.01 ± 1.78 m/sであった。石灰化上皮腫の伝播速度は粉瘤や脂肪腫と比較すると高値であった。石灰化上皮腫では後方エコーの減衰を伴う症例4例、伴わない症例5例の伝播速度の平均値はそれぞれ 6.19 m/s, 5.86 m/sであった。一方で好塩基性細胞が多数存在する早期病変5例の伝播速度の平均値は 4.58 m/sであり、陰影細胞主体の陳旧性の病変4例の平均値は 7.78 m/sであった。

【結語・考察】

粉瘤、脂肪腫、石灰化上皮腫では伝播速度に有意な差を認め、Shear Waveを用いた硬度測定は石灰化上皮腫の診断に有用であると考えられた。石灰化の有無で伝播速度に有意な差はみられず、腫瘍内の陰影細胞の割合によって速度が異なる可能性が示唆された。

Usefulness of shear wave elastography (SWE) for diagnosing calcifying epithelioma

Chinatsu SHOBATAKE¹, Toshiko HIRAI¹, Kohei OGAWA¹, Hideo ASADA¹¹Department of Dermatology, Nara Medical University, ²Department of General Diagnostic Imaging, Nara Medical University Hospital新田 尚隆¹, 高山 法也², 利府 数馬³, 笹沼 英紀³, 谷口 信行², 秋山 いわき⁴¹産業技術総合研究所 健康工学研究部門, ²自治医科大学 臨床検査医学, ³自治医科大学 消化器一般移植外科,⁴同志社大学 超音波医科学研究センター

【目的】

組織弾性の測定及び可視化のための新しい技術として、音響放射力を利用して軟部組織内にせん断波を発生させ、その伝播速度を超音波で測定することにより組織の硬さを測定するshear wave elastography (SWE) 技術が実用化されている。SWE技術は、従来の超音波診断装置とは異なり持続時間が長い高強度のパルスを用いているため、生体中での温度上昇、組織への影響、出血、造影剤投与後における生体作用の増大などが懸念されている¹⁾。また非周期的な照射であり、従来用いられてきた空間ピーク時間平均強度 (Ispta₃) の概念やメカニカルインデックス (MI) の上限値が、生体への影響の観点から常に適切であるとは限らない可能性がある。工学的な視点からは、照射条件と生体への影響との関係を明らかにし、許容できる照射条件を探索することが重要であると思われる。そこで本研究では、照射に伴う生体組織内の温度上昇に着目し、シミュレーション、ファントム実験及び動物実験から得られたデータを整理し、照射条件との関係について検証した。

【方法】

- (1)シミュレーション：2種類の組織モデルを対象として生体熱輸送方程式を解くことにより温度上昇を評価した。骨を含まない組織モデル (Model A) は3次元円柱体で、吸収係数は一様に 0.3 dB/cm/MHzとした。骨を含む組織モデル (Model B) はModel Aに骨層を追加したもので、骨の吸収係数は 10 から 30 dB/cm/MHzの範囲で与え、骨表面上に焦点を置く配置とした。
- (2)ファントム実験：IEC60601-2-37準拠でファントムを製作し、シミュレーションの場合と同様、Model A, Model Bの構造を持つものとした。骨モデルとしては吸音板を用いた。
- (3)動物実験：自治医科大学及び産業技術総合研究所の動物実験委員会による承認を受けて行われた。造影剤投与前後のウサギの肝臓内及び大腿骨表面上の温度上昇を、細径熱電対 (φ0.15 mm) 挿入用の貫通孔を持つ集束超音波振動子 (2.5

MHz, F# = 2) を備えた温度測定システム²⁾を用いて測定した。

いずれの場合も、超音波の照射条件は、パルス持続時間： $0.3 \sim 21.2$ ms, MI : $0.7 \sim 4.0$, 照射間の時間間隔 (PRTに相当) : $2 \sim 10$ s, 照射回数 : $10 \sim 500$ の範囲で網羅的に設定した。また総照射時間は最大 1000 sとした。

【結果】

超音波診断装置の音響出力の認証基準 (Ispta₃ ≤ 720 mW / cm², MI ≤ 1.9) の範囲内において、シミュレーション及びファントム実験では、骨を含まないModel AにおいてWFUMBガイドラインで示される 1.5 °Cを超えなかったが、骨を含むModel Bでは 1.5 °Cを超える場合があった。ウサギを用いた実験でも同様の結果が得られ、肝臓内での温度上昇において超音波造影剤の有無による有意差は見られず、いずれの場合も 1.5 °Cを超えなかったが、大腿骨表面上では 1.5 °Cを若干超える場合があった。

照射条件と温度上昇との関係として、今回の照射条件から算出されるパルス強度積分と温度上昇のピーク値との間には比例関係が見られた。これは、例えば、 1.5 °Cを超える温度上昇を生じさせるパルス強度積分が与えられた場合でも、時間平均する期間を長くすれば、その照射条件は認証基準の範囲内に収まり得ることを示唆しており、今回の骨を含む検討は、このケースに該当している可能性がある。

【結語】

骨を含まない組織では著しい温度上昇は見られなかったが、骨を含む組織では 1.5 °Cを超える場合があった。一方、パルス強度積分と温度上昇との間に比例関係が見出された。今後は、肺や心臓での結果も含めた評価を行う必要がある。

【文献】

- 1) https://www.jsnm.or.jp/committee/uesc/pdf/ARFI_Influence.pdf
- 2) N. Nitta et al., J Med Ultrason 42, 39-46, 2015.

Investigation of bioeffects caused by pulsed ultrasound with acoustic radiation force — From engineering point of view

Naotaka NITTA¹, Noriya TAKAYAMA², Kazuma RIFU³, Hideki SASANUMA³, Nobuyuki TANIGUCHI², Iwaki AKIYAMA⁴¹Health Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST), ²Department of Clinical Laboratory Medicine, Jichi Medical University, ³Department of Surgery, Jichi Medical University, ⁴Medical Ultrasound Research Center, Doshisha University

笹沼 英紀¹, 利府 数馬¹, 高山 法也², 新田 尚隆³, 小形 幸代⁴, 秋山 いわき⁵, 谷口 信行²

¹自治医科大学 消化器一般移植外科, ²自治医科大学 臨床検査医学, ³産業技術総合研究所 健康工学研究部門,

⁴自治医科大学 循環器内科学部門, ⁵同志社大学 超音波医科学研究センター

【背景】音響放射力インパルス (ARFI: Acoustic Radiation Force Impulse) イメージングは近年、乳腺・肝疾患を中心に広く臨床応用され、新たな質的診断法として注目されている。これまで我々は臨床の条件を超えたARFI照射が、造影剤投与下に心臓に及ぶ不整脈が誘発されることや、肺に及ぶと肺表に肺胞出血が生じることを報告し、乳腺や肝臓に近接する心臓や肺に思わぬ生体作用を生じることを指摘してきた。

【目的】臨床に近い条件でARFI照射が心臓や肺に行われた際、どのような生体作用が生じるかを検証した。

【方法】日本白色種ウサギ (3kg, オス)を全身麻酔下に前胸部から腹部を除毛し仰臥位で気管切開を置いて呼吸調整ができるようにした。Bモード画像で焦点深度を調整しながら照射できる動物実験用ARFIシステムを用い、心尖部四腔断面で右房、右室、長軸像で左室を描出し、照射部位を右室、右房、左室壁の3カ所に設定、造影剤静注による不整脈誘発を検証した。右室・右房への照射を右心系照射群、左室への照射を左心系照射群として不整脈の数と形態を検討した。造影剤は臨床使用の2倍量を静注し2分後に照射を行った。照射条件はMI: 1.18, PD: 1.0msec, 照射回数: 30回、照射間隔は脈拍3回に1回、R波から200msecとした。また、同システムを用い呼吸停止下に経肝的に肺表に照射し肺への影響を検証した。照射条件はMI: 0.37 ~ 0.88, PD: 0.3msec, focus: 30mm, 照射回数: 30回、照射間隔: 3sとした。また超音波造影剤を併用することで肺損傷が増強されるか否かについても検証した。犠牲死後、両肺を摘出し病理学的評価を行った。

【結果】心臓への照射では右心系/左心系に各々 180回の照射を行ったところ、造影剤投与をしない場合、不整脈の発生は認められなかったが、造影剤投与下では、右心系照射群で24回、左心系照射群で4回の不整脈が生

じ、右心系で有意に多く心室性不整脈が発生した。両照射群で致死的な不整脈の発生はなかった。一方、肺への照射では、照射部位に一致して肉眼的なRed spot (2 ~ 10mm) を認めた。MI値とred spotのサイズには正の相関を認めた。超音波造影剤の投与による肺損傷の増強は認めなかった。病理組織所見では、照射部位の胸膜直下に肺胞の虚脱ならびに肺胞出血の所見を認めた。

【考察】これまでMI1.8以上かつ造影剤持続静注下で不整脈が誘発されることを報告してきたが、今回、Bモードで心臓の右心系、左心系に狙いを定め精度の高い照射を行ったところ、臨床条件に近いMI1.8未満かつ造影剤の単回静注の条件でも不整脈が誘発され、さらに右心系照射群で有意に不整脈の回数が多いことが明らかになった。右心房付近に存在する洞結節付近への照射となる右心系照射では、より不整脈が発生しやすいと考えられた。また、不整脈の形態が、右心系照射群と左心系照射群で反転したことは、右室-左室へ伸びるプルキンエ線維が刺激されたと推察された。一方、肺への経肝的照射では、MI値に従いより大きなRed spotが生じたことは、照射により肺表に肺胞虚脱ならびに肺胞出血が同時に起こり、肺実質に損傷が及んだと考えられた。本実験は小動物を用いた実験であり、胸膜の厚みや構造が大動物とは少し異なること、また同一部位に30回連続で照射するという非臨床的条件下の結果のため直ちにヒトに当てはめることはできない。今後、大動物を用いた実験で検証する必要がある。

【結論】ARFIを伴う超音波の心臓への照射では、臨床使用のMI値で造影剤単回静注下に、特に右心系への照射で多く心室性不整脈が誘発された。肺への照射では、臨床使用のMI値で肺表面に肺胞虚脱を伴った肺胞出血が生じた。

The effects of ultrasound with acoustic radiation force on rabbit heart and lung

Hideki SASANUMA¹, Kazuma RIFU¹, Noriya TAKAYAMA², Naotaka NITTA³, Yukiyo OGATA⁴, Iwaki AKIYAMA⁵, Nobuyuki TANIGUCHI²

¹Department of Surgery, Jichi Medical University, ²Department of Clinical Laboratory Medicine, Jichi Medical University, ³Health Research Institute, National Institute of Advanced Industrial Science and Technology, ⁴Division of Cardiovascular Medicine, Jichi Medical University, ⁵Medical Ultrasound Research Center, Doshisha University