

(西暦) 2021 年度 博士前期課程学位論文要旨

学位論文題名

MR elastography における最適な加振パッド開発

学位の種類： 修士 (放射線学)

東京都立大学大学院

人間健康科学研究科 博士前期課程 人間健康科学専攻 放射線科学域

学修番号 20897717

氏名： 山口 璃己

(指導教員名： 沼野 智一)

組織の硬さ(弾性率)の情報は、組織の疾患状態を把握する上で重要な情報の1つである。元来、人体組織の硬さを測る技術として、触診が行われてきた。触診は、メリットとして簡便に行えるという点があるが、デメリットとして、「施術者の技術に依存」、「定量性に欠ける」、「体表付近の組織が対象」などが挙げられる。こういったデメリットを克服する技術として、Magnetic Resonance Elastography (MRE)という技術がある。

MRE は、Magnetic Resonance Imaging(MRI)において撮像対象に振動を加えながら撮像を行うことで、対象に伝わる波(伝播波)を MR 位相画像上に wave image として可視化し、伝播波の波長から組織の弾性率を算出する技術である。MRE は体表組織、深部組織ともに定量的に硬さを測定できる技術だが、wave image で可視化される伝播波の波長を利用するため、振動が対象組織に必要な強度で伝わっていることが必要不可欠となる。つまり、振動の amplitude は、MRE 技術において重要な因子の1つと言える。

MRE では、一般的に音圧振動を利用する。ボイスコイル(≒スピーカ)で発生する音圧振動がビニールチューブを通じて、撮像対象に圧着された振動子(加振パッド)に伝わる。現在臨床に用いられている肝臓用 MRE の加振パッドは、パラボラアンテナに膜を張ったような構造になっている。肝臓以外の部位に MRE を適応するとき、部位ごとにそのサイズが異なるため、肝臓用の加振パッドをそのまま適用しても、十分な amplitude が得られない可能性がある。例えば、棘上筋や梨状筋などのようなサイズが小さい部位では、肝臓用の加振パッドのように膜の面を大きく設計してしまうと、対象への圧着が不十分となり、振動エネルギーの漏れが生じてしまう。そのため、高い amplitude を対象に伝えるためには、その部位ごとに加振パッドの構造を考慮して設計することが必要になってくる。MRE を適応するあらゆる部位において、最適な加振パッド構造がわかれば、今後の MRE 技術開発の一助となると考えられる。

所属する研究グループでは、加振パッドにおけるパラボラアンテナの膜の部分振動面、容積部分を本体内部と呼んでいる。また、これまでの経験から、振動面「面積」と、本体内部「体積」の2つのパラメータが加振パッドの性能(対象にどれだけ高い amplitude を伝えるか)に影響していると考えている。これまでに、棘上筋、大腰筋、梨状筋など、様々な部位に MRE を適用させるため、これらのパラメータを感覚的に考慮して加振パッドを設計してきたが、いずれの加振パッドも1番効率よく対象を揺らしているか(amplitude が1

番高いか)定かではなかった。そこで本研究では、加振パッドの構造を「面積」と「体積」の2つのパラメータにわけて考え対象に伝わる amplitude が最も高くなる加振パッドはどのようなパラメータを持つかを定量的に検証した。振動周波数は 50, 100, 150Hz とした。撮像には Gradient-echo type multi-echo MRE シーケンスを使用し、対象はアクリルアミド製の日本磁気共鳴医学会 MRE プロジェクト研究 Phantom とした。加振パッドの振動面「面積」は SS サイズ, S サイズ, M サイズ, L サイズの4種類作製した。なお、振動面の形は円形とした。それぞれの加振パッド「面積」サイズにおいて「体積」を変動させ、phantom に一番高い amplitude を加えた加振パッドを各サイズ1つずつ、計4つ選出した。選出した4つの加振パッドの「面積」,「体積」には、以下のような関係性があることがわかった。

$$V=1.41 A + 24.90 \quad @50\text{Hz}$$

$$V=1.43 A + 23.33 \quad @100\text{Hz}$$

$$V=1.40 A + 26.47 \quad @150\text{Hz}$$

ここで、 V は「体積」、 A は「面積」を表す。また、これまで感覚的に(トライアルアンドエラーで)作製してきた棘上筋、大腰筋、梨状筋、などの加振パッドの「体積」,「面積」も、上式の条件を満足していた。この結果は、これまでに作製してきた加振パッドが結果的に「効率が良い加振パッド」であったと言える。

本研究の結果から、加振パッド「面積」が対象部位(臓器や筋肉)で決まると、適切な加振パッド「体積」を算出できる。この知見は今後の加振パッド開発で重要な一助となる。