

乳腺腫瘍の種類判別を支援する 硬さ推定ロボットシステムの開発

[1] 組織

代表者：藤江 正克

(早稲田大学次世代ロボット研究機構)

対応者：山家 智之, 白石 泰之

(東北大学加齢医学研究所)

分担者：

小林 洋(早稲田大学次世代ロボット研究機構)

三浦 智(早稲田大学理工学術院)

曹 暘(早稲田大学理工学術院)

岡村 尚美(早稲田大学理工学術院)

加藤 陽(早稲田大学理工学術院)

研究費：物件費 25 万円

[2] 研究経過

我が国で最も多い死因は癌であり、2017年現在、癌による死亡者数は増加傾向にある。また、癌の早期発見は五年生存率の向上に繋がる。このような背景から、癌の検査方法に関する技術の向上が求められている。現在、乳癌の検診ではマンモグラフィ検査、超音波エコー検査等が用いられているが、それぞれに問題点がある。マンモグラフィ検査では、乳腺密度が高い場合に診断が困難な点や装置が大規模であるという課題がある。一方、超音波エコー検査では、検査者に技術が求められるなどといった課題がある。従って、複数の検査の併用が不可欠である。より簡便かつ確実に検査を実施するため、内包物検知に関する研究や、弾性分布の画像化に関する研究などが行われているが、簡易性の観点において課題が多い。そこで本共同研究では、簡易的で定量性のある乳癌の位置同定方法の提案と、その有効性の確認を目的とする。

本共同研究を行うに当たって、著者らが事前に実施した研究成果について説明する。模擬腫瘍を含んだ乳房を想定したファントムに対して、ハンマリング試験により位置同定を行う研究を行った。結論として、円筒により表面を押し込みながらハンマリング試験を行うことで、位置同定が可能であることを実証した。

本共同研究における実験の概要に関して、以下に説明する。まず、シリコン製のφ14[mm]の球体の模擬腫瘍をヤギの乳房内に挿入した(図1)。そして、乳房を円筒により押し込み、円筒の中心を測定点としたハンマリング試験を行い、加振力と変位を測定した(図2)。

測定データから、周波数応答関数を算出し評価した。また、位置同定方法の調査のため、円筒位置を変数として扱い、周波数応答関数の動向を調査した。実験の原理を図3に示す。実験を行うにあたり、事前に実験方法や動物実験に関する諸注意等に関して早稲田大学にて打ち合わせを行った。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、以下に示す研究成果を得た。図4に、円筒位置が模擬腫瘍の直上の場合と直上から20[mm]の場合の、周波数と周波数応答関数の関係を示す。周波数応答関数に関しては、加振力と乳房の変位の実測値より算出した。

図4より、円筒位置に関わらず、15.5Hzで周波数応答関数が卓越していることが確認できた。また、円筒位置が直上の場合では、24.0Hzでも周波数応答関数が卓越していることが確認できた。これは、弾性率の差異に基づいて、模擬腫瘍と周辺組織の共振周波数に

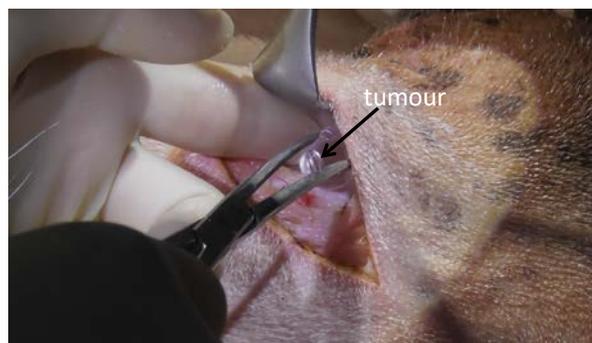


図1 乳房内へのシリコン挿入

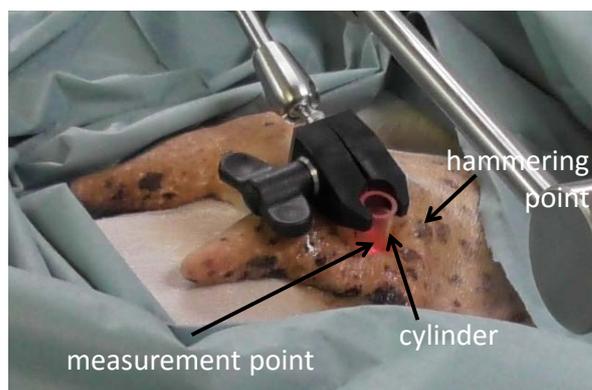


図2 実験概要

差異が生じたためであると考えられる。周辺組織と模擬腫瘍の弾性率は異なる。共振周波数は弾性率に依存し、比較的弾性率が大きい模擬腫瘍は共振周波数が高い。これらの差異が影響を及ぼしたと考えられる。

また、測定点が模擬腫瘍に近づくにつれ、模擬腫瘍が結果に与える影響は大きくなり、比較的高周波領域において周波数応答関数が卓越するようになる。以上のことから、円筒位置が模擬腫瘍の直上の場合において、比較的共振周波数の高い模擬腫瘍の影響を受けて24.0Hzでも周波数応答関数が卓越していると言える。

また、円筒位置が直上から20[mm]の場合と比べ直上の場合では、周波数応答関数が大きい値をとる。これは、減衰率の差異による影響であると考えられる。円筒位置が直上の場合に最も模擬腫瘍の影響を受けることから、模擬腫瘍の減衰率が比較的小さく、全体的に周波数応答関数が大きい値をとると考えられる。従来研究から、癌組織は正常組織に比べ、減衰率が小さいことがわかっているため、実際の乳癌に対しても同様の結果が得られると考えられる。

以上のことから、円筒による押し込みを行うハンマリング試験を行い、周辺組織の共振周波数より高周波領域において最も周波数応答関数が卓越する円筒位置、全体的に最も周波数応答関数が大きな値をとる円筒位置を調査することを、乳癌の位置同定方法として提案した。

硬さ推定に関して、上述の手法に基づき、周波数応

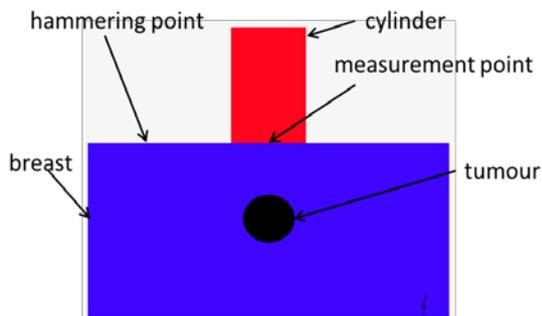


図3 実験の概要図

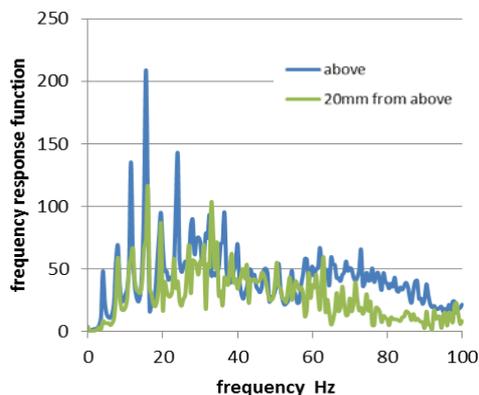


図4 周波数と周波数応答関数の関係

答関数において卓越した周波数と模擬腫瘍の弾性率との関係性を見出すことで、推定方法の確立につながる。そのために、模擬腫瘍の弾性率を変数とした試験を行うことが今後の方針である。

課題として、当検査方法の信頼性の確認および向上が必要である。解決方針として、周波数応答関数の信頼性を表す指標としてコヒーレンスが存在する。本共同研究において、コヒーレンスも算出した。その結果として、周波数が高くなるにつれてコヒーレンスが低下する傾向にあることが確認できた。

(3-2) 波及効果と発展性など

本共同研究の成果として、二次元の位置同定手法を提案し、その有効性を確認した。しかし、実用性の観点から、深さ方向も考慮した三次元の位置同定、癌の寸法の同定が求められる。

本共同研究では、弾性率に依存する共振周波数に着目したハンマリング試験を行った。そのため、硬さを定量的に測定する点で共通する、定量的な筋疲労度の測定に応用が可能であると考えられる。疲労した状態の筋肉に対してハンマリング試験を行い、周波数応答関数を取得する。筋疲労度を変数として試験を行い、筋疲労度と周波数応答関数において卓越した周波数の関係を調査することで、定量的な判断基準の設定が可能であると考えられる。

また、振動に関連して、切開創の回復度の測定にも応用可能であると考えられる(図3)。切開創の回復度を変数としてハンマリング試験を行い、周波数応答関数において卓越した周波数の傾向を調査することで、切開創の回復度を定量的な判断基準のもと測定可能になると考えられる。

他にも、ストレッチング時における筋硬度の簡易的な検査方法として、ハンマリング試験の実施が考えられる(図4)。筋肉の乳酸の蓄積によって弾性率が異なるため、筋疲労が少ないほど共振周波数は高くなると思われる。構造の複雑な乳房に比べて、簡易な構造の筋肉の方が伝搬率は高くし、シンプルに計測可能であると考えられる。

以上、ハンマリング試験を用いた検査方法に関して、信頼性の向上、および多面的な展開が期待されている。

[4] 成果資料

- 1) Yo Kobayashi, Mariko Tsukune, Tomoyuki Miyashita, and Masakatsu G. Fujie, "Simple empirical model for identifying rheological properties of soft biological tissues", PHYSICAL REVIEWE, 95, 022418, 2017