

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

(早稲田大学理工学術院)

対応者：山家 智之

(東北大学加齢医学研究所)

白石 泰之

(東北大学加齢医学研究所)

分担者：

小林洋 (早稲田大学理工学術院)

築根まり子 (早稲田大学創造理工学研究科)

呂筱薇 (早稲田大学創造理工学研究科)

菊池勇人 (早稲田大学創造理工学研究科)

山本晃裕 (早稲田大学創造理工学研究科)

廣岡和真 (早稲田大学先進理工学研究科)

研究費：物件費 20 万円

[2] 研究経過

日本における乳がんの死亡率と罹患率は、70年代後半から増加している。乳がん患者数の増加に伴い、画像診断技術が急速に発展し、乳房に発生した腫瘍の早期発見が可能となった。しかし、既存の医用画像では腫瘍が悪性腫瘍であるか良性腫瘍であるかを判別できるほど明瞭なことは、侵襲的な組織学検査が必要となる。患者の身体面および美容面への負担軽減の観点から、乳がん医療では、低侵襲な手法で、組織の種類や状態の差異が明瞭に描画され、高精度な腫瘍の良悪性診断を可能にする新しい医用画像が期待されている。そこで申請者らは、生体組織は非線形弾性率を有し、腫瘍の種類によって非線形弾性率が大きくという工学的知見と、触診において医師は悪性腫瘍の独特の硬さとゴツゴツした表面性状を触知しているという臨床的知見から、ロボットマニピュレータで乳房に変形を与え、ロボットマニピュレータから得られる力情報と超音波画像から得られる変形情報を用いて生体組織内部の非線形弾性分布を推定し画像化するロボットシステムを開発している。

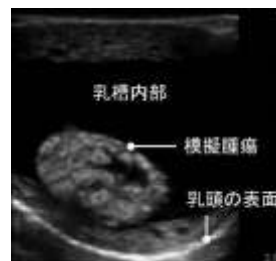
本申請では、生体組織内部の非線形弾性分布を推定するプロトタイプシステムを構築し、乳房の形状・硬さがヒトに近いヤギをモデル動物として本シ



(1) 構成材料



(2) 外観



(3) 乳槽に挿入した模擬腫瘍 (超音波画像)



(4) 乳腺組織間に挿入した模擬腫瘍 (超音波画像)

図1 模擬腫瘍

ステムの非線形弾性特性の推定精度を評価することを目的とする。本申請では次の2つの技術課題解決に重点を置く。1点目は、腫瘍の非線形弾性率および周辺組織との境界条件を模擬した実験用模擬腫瘍の製作手法を検討することである。2点目は、実験用模擬腫瘍に対してプロトタイプシステムにより非線形弾性特性を推定した際の推定精度を評価することである。

本年度は、生体組織内部の非線形弾性分布を推定するプロトタイプシステムの推定精度を評価するために、非線形弾性特性および周辺組織との境界条件をコントロール可能な模擬腫瘍の材料および製作手法を検討することを目的とした。模擬腫瘍をヤギ乳房内部に挿入し、翌日に、周辺組織との固着状態や超音波画像での見え方について、定性的な観察を行った。模擬腫瘍の外観および超音波画像を図1に示す。実験結果の詳細は[3]に示す。

以下、研究活動状況の概要を記す。模擬腫瘍材の製作は早稲田大学で行い、ヤギの慢性実験は東北大学加齢医学研究所にて共同で実施している。実験を行うにあたり、事前に実験プロトコルに関する議論・打ち合わせをテレビ会議にて実施している。

[3] 成果

(3-1) 研究成果

本年度は、生体組織内部の非線形弾性分布を推定するプロトタイプシステムの推定精度を評価するために、非線形弾性特性および周辺組織との境界条件をコントロール可能な模擬腫瘍の材料および製作手法を検討した。

悪性腫瘍の力学的特徴は、正常組織に対し非線形弾性率が非常に高く、周辺組織との境界は癒着しており不明瞭であることである。一方、良性腫瘍の力学的特徴は、非線形弾性率は正常組織よりも高いが悪性腫瘍よりも低く、周辺組織との境界は明瞭であることである。腫瘍の非線形弾性特性の違いは、コラーゲン含有量の違いに起因すると推測される。そこで、模擬腫瘍の非線形弾性特性を調整する基礎材料として、培養に用いられるコラーゲンゲルを用いることとした。腫瘍と周辺組織との境界条件の違いは、周辺組織との異物反応の違いに起因すると推測される。異物反応の違いは、(a) 異なる組織の間に挿入する場合と、(b) 同一組織に切込みを入れて挿入する場合で異なると予測されることから、コラーゲンゲルをヤギ乳房の(a) 乳管内に挿入する場合と、(b) 乳腺組織内に挿入する場合の2パターンで異物反応を比較することとした。このとき、コラーゲンゲルが周辺組織と癒着しやすいように、コラーゲンゲルは同じヤギから摘出した乳腺組織の膜で包み(図1(1))、乳腺組織の膜は手術糸で縫い合わせて、長軸約20mm・短軸約15mmの楕円体に成形した(図1(2))。コラーゲンゲルは紫外線殺菌および乾熱殺菌された容器を用いて製作された。

模擬腫瘍をヤギ乳房内2カ所に挿入し、翌日に観察された超音波画像を図1(3)(4)に示す。(a) 乳管内に挿入した模擬腫瘍は、乳頭付近の乳槽内に移動しており、周辺組織との癒着は観察されなかった。一方、(b) 同一組織に切込みを入れて挿入した模擬腫瘍では、周辺組織との間に炎症による水が観察された。癒着はしていなかったが、周辺組織からの位置の移動は見られなかった。よって、今後のこの状態を数週間保つことで、炎症が治まり、模擬腫瘍と周辺組織が癒着することが期待された。

今後は、模擬腫瘍を数週間ヤギ乳房内に埋め込んだ場合の癒着状態を観察する。また、コラーゲンゲルの濃度を変更した際の非線形弾性特性の変化のデータベースを構築し、任意の非線形弾性特性を有する模擬腫瘍を製作する。

(3-2) 波及効果と発展性など

本共同研究は、実験の実施や打ち合わせについては分担者の若手研究者が率先して取り組んでおり、

若手研究者の育成に役立っている。これまでに腫瘍の生物的・化学的特性を模擬する研究はなされてきたが、腫瘍の非線形弾性率や周辺組織との境界条件等の材料特性に関して模擬する研究は行われてこなかった。本研究で模擬腫瘍の製作手法を検討することにより、腫瘍の材料特性に関する工学的解釈を深めることができる。また、本共同研究で取り組んでいる周辺組織との境界条件制御に重点を置いた模擬腫瘍は、非線形弾性分布推定システムの評価対象だけでなく、触診トレーニング対象や腫瘍の摘出や腫瘍の穿刺などの外科治療トレーニング対象、外科治療支援システムの評価対象としても用いることができ、新しい医療トレーニング手法や医療支援システムの構築へ貢献することが期待される。

[4] 成果資料

- (1) Yo Kobayashi, Maya Hatano, Makiko Suzuki, Yasuyuki Shiraiishi, Tomoyuki Yambe, Makoto Hashizume, and Masakatsu G Fujie, "Preloading based needle insertion with a concave probe to enhance targeting in breast tissue", *ROBOMECH Journal* 2014, 1:17
- (2) Mariko Tsukune, Yo Kobayashi, Tooyuki Miyashita, and Masakatsu G. Fujie, "Automated palpation for breast tissue discrimination based on viscoelastic biomechanical properties", *International Journal of Computer Assisted Radiology and Surgery*, 10.1007/s11548-014-1100-2, 30 Jul, 2014.