

乳がんへの穿刺治療を支援する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)

渡辺広樹 (早稲田大学理工学術院)

築根まり子 (早稲田大学先進理工学研究科)

磯部洋佑 (早稲田大学創造理工学研究科)

呂筱薇 (早稲田大学先進理工学研究科)

Lee Jeannette Sui Linn

(早稲田大学先進理工学研究科)

研究費：物件費 10 万円

[2] 研究経過

日本における乳がん患者数の増加に伴い、患者の身体面および美容面への負担軽減の観点から、小さい病変部位のみを局所的に治療する高周波熱凝固療法 (RFA) が注目を集めている。RFA 療法は低侵襲な局所療法として症例数が増加しているが、①乳房組織は柔らかいため穿刺時に病変部位が移動しやすく、正確な穿刺の実施が困難な点、②焼灼範囲が画像診断装置等で視認できないため、治療上必要な焼灼領域を過不足なく確保することが困難な点が、臨床上の課題となっている。本研究では上記問題を解決する乳がん穿刺治療用のロボットシステムを提案する。臓器変形および焼灼領域を予測する臓器の力学モデルを規範とした生体数値シミュレーションと、シミュレーションにより決定した動作を正確に実施する穿刺支援ロボットの併用により、正確な穿刺と焼灼の実現し、従来の RFA 療法が有する穿刺精度と焼灼制御性の問題を解消する。

本共同研究課題では、乳房の形状・硬さがヒトに近いヤギをモデル動物として評価実験系を構築し、提案システムの穿刺精度ならびに焼灼範囲を評価することを目的とする。

早稲田大学藤江研究室と加齢医学研究所は、本継続課題3年間を通して、ロボットを用いたヤギの乳房に対する穿刺実験・圧縮実験 (図2) を共同で5

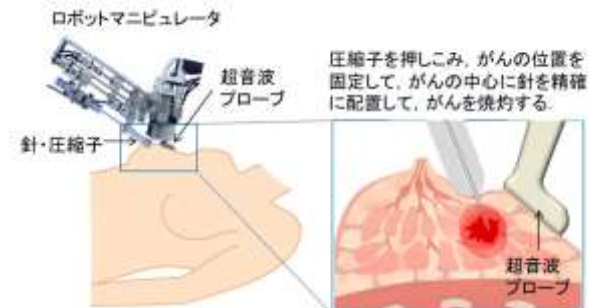


図1 提案システム概要



図2 ヤギ乳房を対象とした実験風景

回実施した。その中で、ヤギの乳房内に模擬がんを埋め込む手法や、ヤギの乳房と腹膜の間に模擬肋骨を埋め込む手法などの乳がん穿刺治療マニピュレータの評価実験に関する方法論について知見を得てきた。本年度は打ち合わせ回数を増やし、これまでにやってきた実験手法の問題を議論した。これらの実験および準備のための連絡・訪問を経ることで、今後の研究を加速できる連携体制が強化された。

[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。

①穿刺支援マニピュレータの強度改善

マニピュレータの位置決め精度を向上するために、既に開発したマニピュレータに用いられているリンクパーツに発生するたわみの低減を試みた。有限要素解析を行ってリンクパーツの形状を再検討した結果、従来のリンクパーツに発生するたわみに対し、

新しいリンクパーツに発生するたわみを約 1/2 に低減することができた。

②乳がん組織の弾性特性を体表から取得した力情報から推定する手法の検証データの取得

前年度までの研究から、皮下に存在する組織により、組織を押し込む力に有意に差が存在することを確認し、乳がん組織の存在を力情報から推定できる目途を立てた。この結果は、乳がん組織の存在推定のみならず、乳がん組織の弾性特性を力情報から推定可能であることも示唆した。乳がん組織の弾性特性を推定できれば、シミュレーションに推定した弾性特性を反映することで、より高精度なシミュレーションとロボットの動作計画を実行可能となる。

本年度は、乳がん組織の弾性特性を体表から取得した力情報から推定するアルゴリズムの精度を検証するために用いる、ヤギ乳房の圧縮実験データを取得した。ヤギ乳房を圧縮した際の押し込み変位と反力のデータ、および、ヤギ乳房から取り出した乳房組織の弾性特性データを材料試験器から取得した。今後は、乳房組織の弾性特性を推定するアルゴリズムによって、取得した押し込み変位 - 反力データをもとに弾性特性を推定し、材料試験器から取得した弾性特性と比較し、アルゴリズムの精度検証を実施する。

③新たな模擬がんの製作方法の検討

本年度は、前年度までに検討してきた正常なヤギ乳房に模擬がんを埋め込む手法に対して問題点を議論した。前年度までは、模擬乳がんとして人工血管や加熱した正常乳腺等の硬い物質を、正常乳腺を切開して埋め込むという手法をとってきた。しかし、これまでの模擬がんでは、実際の乳がん組織とは異なる弾性特性を有する、そして、実際の乳がん組織が発生した際の異物反応による弾性増加を再現していないため、実際の乳がんを有する乳房を穿刺した際の変形挙動と異なってしまうという問題が挙げられた。したがって、実際の乳がん組織に近い弾性特性と異物反応による弾性増加を再現可能な新しい模擬がんの製作方法を検討した。本年度は、検討した新しい模擬がんの製作方法が実現可能であるかを予備的に確認するために、ヤギ乳房に模擬がんを埋め込み、1日観察した。観察した結果、1か月程度長期間埋め込んだ状態を保つことで、異物反応による弾性増加が見込まれる状態を見ることができた。

(3-2)波及効果と発展性など

本研究で明らかになった成果②の「乳がん組織の弾性特性推定」技術は、穿刺支援ロボットの穿刺軌道を計画するためのシミュレーションへの使用にとどまらず、医師が感覚的に行ってきた乳がん触診技術の定量化という新しい研究テーマに結びついた。

この研究テーマは、平成 26 年度加齢医学研究所共同研究課題に採択されており、今後の発展が期待される。また、成果③の「新たな模擬がんの製作方法の検討」では、平成 26 年度加齢医学研究所共同研究課題において足掛かりとなる予備データを得ることができた。この成果は、今後の研究を加速することが期待されるものである。

本年度は前年度までに比較し、さらに乳腺外科に関する社会の関心が非常に高まっており、複数のメディアにより報道され、大きな社会的反響を得た。また、実験への若手研究者、学生の参加により、医工学の分野に関連する技術者の育成に貢献した。

[4] 成果資料

(1) Tsukune M, Hatano M, Kobayashi Y, Miyashita T and Fujie MG, Boundary Condition Generating Large Strain on Breast Tumor for Nonlinear Elasticity Estimation, in Proceeding of 35rd Annual International Conference of the IEEE Engineering in Medicine and Biology Society (EMBC2013), pp. 4863-4866, August, 2013.

(2) 築根まり子, 波野野麻耶, 野口建彦, 小林洋, 白石泰之, 山家智之, 宮下朋之, 藤江正克, 乳がん診断支援を目指した弾性率の非線形性を推定する触診ロボットの開発 - 2 本のマニピュレータにより非均一柔軟体物へ付加する幾何学的境界条件の導出 -, 第 18 回ロボティクスシンポジウム予稿集, pp. 88-95, 山形, 2013 年 3 月.

(3) 小林洋, “乳癌の治療を助けるロボット - 「切らない手術」を正確・安全に -”, 読売新聞 Yomiuri Online Waseda Online, http://www.yomiuri.co.jp/adv/wol/opinion/science_130610.htm, http://www.yomiuri.co.jp/adv/wol/dy/opinion/science_130624.htm, 2013 年 6 月 10 日掲載.

(4) 小林洋, “肝癌・乳癌の治療を助けるロボットシステム ~安全かつ確実な切らない治療の実現に向けて~”, 映像情報 industrial, 45 巻 10 号・11 号, pp.54-57, 2013 年 10 月.

(5) 小林洋, “肝癌・乳癌の治療を助けるロボットシステム ~安全かつ確実な切らない治療の実現に向けて~”, 映像情報 medical, 45 巻 11 号, pp. 898-901, 2013 年 10 月.

(6) 早稲田大学広報, “世界をリードする WASEDA のロボット研究”, 朝日新聞朝刊, 13 版, p. 6, 2013 年 10 月 26 日.

(7) 早稲田大学広報, “Waseda Rikoh-girl に聞く「乳がん手術支援ロボット」研究”, CAMPUS NOW 2014 新年号, p14, 2014 年 1 月.