

次世代がん治療ロボットの開発研究

－極細針穿刺におけるたわみ抑制手法の研究－

研究代表者 岩田 浩康
(創造理工学部 総合機械工学科 教授)

1. 研究課題

近年、開腹手術や放射線治療、抗がん剤等の化学治療に加え、穿刺技術を用いた低侵襲ながん治療法に期待が高まっている。穿刺とは体内に存在するがん腫瘍などの対象に対して針を挿入する治療行為であり、針に対して熱を加える RFA 焼灼術や、がんへの免疫力を回復させるために自家の樹状細胞を注入するがんワクチン療法など様々な治療法に対して用いられる。ここで治療に用いる針の径が細い（以下、極細針）ほど、患者への侵襲性が下がる一方、針が容易にたわむため正確な穿刺が困難になる（図 1 a）。特に、身体深部への穿刺では、複数の組織や臓器を通過することから針のたわみは一層複雑となる。これに対し、穿刺中に CT などの医用画像モダリティを用いて、針先や腫瘍の位置を適宜確認する方法が採られているが、CT は鮮明な画像の取得を可能とする一方で、何度も刺し直した場合、CT の撮像回数が増え、患者や医師への被ばく量の増加ひいては健康被害へのリスク増につながる。以上の課題を解決するためには、遠隔操作で極細針を用いた穿刺治療が可能なロボット技術を構築する必要がある。

以上を踏まえ、本研究では、臨床的な需要が高い下腹部リンパ節腫瘍とし（図 1 b）、腫瘍部位までに極細針が主に通過し得る皮膚、筋肉、腸管等の組織との接触において、針のたわみを低減する穿刺制御手法の有用性を検証することを目的とする。

2. 主な研究成果

2.1 針のたわみの機序

一般的な穿刺針の針先形状は円筒を斜めにカットしたベベル形状である（図 2）。軟組織に対

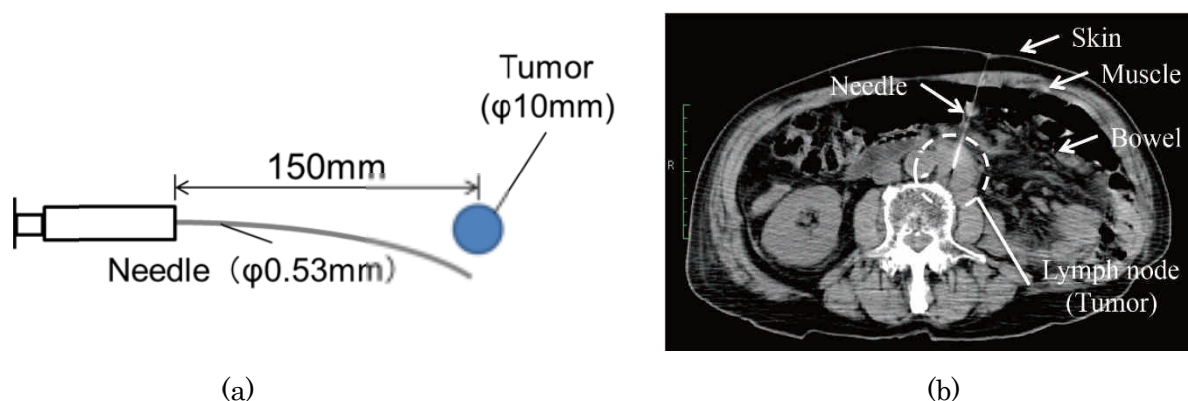


Fig. 1 Problem of needle insertion: (a) deflection overview, (b) CT image of lower-abdomen



Fig. 2 Needle insertion flow

して穿刺を行う場合、大きく二つのフェーズに大別することができる。Phase1 は、針先が組織の表面または境界面に接触してから始まる。針先から組織に一定以上の力がかかると表面は破断し、Phase 2 が始まり、次の境界面に接触するまで続く。Phase 1 及び Phase 2 ではそれぞれ針のたわむ原因が考えられる。Phase 1 では表面を破断するまでの間に組織は大きく変形し、その方向によって針先の軌道がずれてしまう可能性がある。Phase 2 では針先は組織内を切断していくが、針先に生じる力及びシャフト部にかかる摩擦力によって針がたわむと考えられる。そこで、たわみを低減する要件として、Phase 1 では組織の変形の抑制と表面破断に要する力を低減すること、Phase 2 では針先に生じる力方向を均一化することとシャフト部に生じる摩擦力を低減することが求められる。

2.2 振動と回転を併用する穿刺制御手法

上記の機序分析に基づき、針に穿刺軸方向への高周波振動及び穿刺軸周りの回転を付与する制御手法が岩田・蓮見により案出された。当該穿刺制御手法の概要は以下の通りである。

- 振動：従来研究によれば、穿刺速度に伴い、組織破断に要する力は低減することが報告されている。しかし、実際の施術を勘案すると高速の穿刺は危険性を伴う。そこで穿刺針に対して高周波の振動を加えることで局所的に穿刺速度を増加することとした。振動を加えることでシャフト部に接触する組織の接触が緩和し、摩擦力も低減できる効果も期待できる。
- 回転：ベベル形状の性質上、穿刺中に針先に非対称な力が生じるため、針の軌道は円弧を描きながらたわむ。これに対し、針に回転を加えることによって針先に生じる力が均一化され、直線的な軌道で針が進むことが期待される。

これらの制御手法の有用性を検証するべく、皮膚、筋肉、腸管に対する穿刺試験を実施した。結果として、皮膚や筋肉など厚みのある組織に対しては回転が有用であることが、また、皮膚

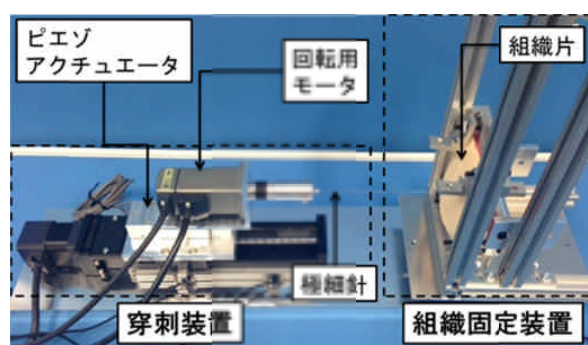


Fig. 3 Experimental setup for needle insertion

や腸管などの弾性率の低い組織に対しては振動が有効であることが示唆された。下腹部を模擬したファントムに対して、組織ごとに振動と回転の最適な組み合わせを検証したところ、皮膚と筋肉に対して振動と回転を併用し、腸管には振動のみを加えた場合にたわみが最小化されることが判明した。課題として、組織の形状によってたわみを最小化できないことや、回転を付与することで組織損傷が増大してしまうという知見が得られた。今後はこれらの原因と対策を検討してゆく予定である。

3. 共同研究者

該当なし

4. 研究業績

4.1 学術論文

- [1] 渡辺貴文, 鈴木智也, 岩田浩康, “CT-US の相補利用による体内組織の実時間トラッキング手法の開発”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 論文集 (Robomec'15), paper no. 1P1-C04, 2015 年 5 月
- [2] 下島海, 渡辺貴文, 岩田浩康, “超音波プローブの押しつけによる極細針の穿刺パスへの影響”, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2015 論文集 (Robomec'15), paper no. 1P1-C09, 2015 年 5 月
- [3] Kai Shitashima, Takabumi Watanabe, Hiroyasu Iwata, “Effects on the Insertion Path of an Ultrafine Needle by Compression from an Ultrasonic Probe”, the abstracts of the international conference on advanced mechatronics: toward evolutionary fusion of IT and mechatronics: ICAM 2015 (6), pp. 7-8, 2015.12

4.2 総説・著書

該当なし

4.3 招待講演

該当なし

4.4 受賞・表彰

- [1] 計測自動制御学会 SI 部門若手奨励賞, 2015 年 12 月

4.5 学会および社会的活動

該当なし

5. 研究活動の課題と展望

次年度は、2015 年度の分析に基づき、組織形状によるたわみへの影響分析及び針の回転制御に伴う組織損傷の定量評価を行う。組織形状の影響を把握することで CT 画像から取得した情報をもとに最適な穿刺経路のプランニングが可能となる。また組織損傷の影響を勘案することで臨床への適応のための安全性の担保につながることを期待される。