

別紙4

研究成果の刊行に関する一覧表

書籍

著者氏名	論文タイトル名	書籍全体の 編集者名	書 籍 名	出版社名	出版地	出版年	ページ

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
来間一郎, 桑名健太, 正宗賢, 山下紘正, 千葉敏雄, 土肥健純	低侵襲胎児治療のための集束超音波位置決め装置の開発	第20回ライフサポート学会フロンティア講演会予稿集		52	2011

A7-4

低侵襲胎児治療のための集束超音波位置決め装置の開発 Development of HIFU positioning system for less invasive fetal treatment

○ 来間一郎¹, 桑名健太¹, 正宗賢¹, 山下紘正², 千葉敏雄², 土肥健純¹

1. 先端治療福祉工学研究室, 2. 国立成育医療研究センター

1. 背景

胎児期仙尾部奇形腫は、胎児の腰部に巨大な腫瘍ができることで、胎児の体に多大な負担がかかり、最終的に死に至る病気になる。従来は開腹手術により腫瘍を切除するという治療が行われてきたが、侵襲性が高く、胎児にも母体にも大きな負担となる点が問題視されている¹⁾。そこで、集束超音波 (High Intensity Focused Ultrasound; HIFU) を体外から照射し、腫瘍に血液を供給している血管を焼灼することで、腫瘍の成長を阻害するという治療法が提案されている (Fig. 1)。しかしこの治療法の実現には、母親の呼吸や子宮内胎児の浮遊によって移動する患部を追従し、径 1~3mm 程度の血管にピンポイントに HIFU の焦点を合わせる必要がある。現在開発中の HIFU 照射装置は、超音波プローブを備え、リアルタイムで目標の位置を捉えることができる²⁾。また、フェイズドレイ式の HIFU トランスデューサにより、限られた範囲内で焦点位置を移動することができる。これらの装置を前述の治療法に応用するにあたり、より広い焦点移動範囲が必要となるため、HIFU ヘッド部を位置決めする機構が必要になる。

2. 目的

本研究では、胎児期仙尾部奇形腫の HIFU 治療において、HIFU ヘッド部を移動可能な位置決め装置の開発を目的とする。

3. 要求仕様

必要とされる自由度は並進 3 つ、動作範囲は 100mm×50mm×100mm の直方体領域とする。最大動作速度は 10mm/s とし、位置決め精度については、超音波画像の解像度と同程度の 1mm と設定する。また、できる限り小型軽量とし、アクチュエータ部分は患者から遠ざける必要がある。滅菌・洗浄については、開腹手術のように高度な滅菌は必要としないもの、HIFU ヘッドは容易に取り外し可能であることが望ましい。

4. 機構の検討

自由度の配置の方法については、3 自由度直列、3 自由度並列、2 自由度並列+1 自由度の 3 種類が考えられる。多自由度を並列に配置するほど、剛性・出力や、重畳を根元側に集中できる点で有利であるが、構造が複雑化し、特に先端の姿勢を維持する平行リンクの重量増加・精度低下が懸念される。そのため、並列配置の利点と、シンプルな構造のバランスをとり、2 自由度並列+1 自由度を採用する。

並列 2 自由度を実現する構造としては、リンク角度指定、リンク長指定、リンク端点位置指定の 3 種類が考えられる。長さ指定方式は、可動部に直動機構を搭載する性質上、可動部の重量と複雑さが問題になる。角度指定方式は、アクチュエータ周りのコンパクトさに優れるが、リンク数などから精度・可動部重量の点で劣る。端点位置指定方式は、根元部のサイズ以外の欠点がないため、これを採用する。端点位置の駆動範囲としては、2 つの直動機構を平行に配置したものとす。冗長な動作領域については、ハード的に制限する。

並列 2 自由度と残る 1 自由度の配置順としては、先端側に単純軽量のリンクのみを配置できること、アクチュエータを根元側に集中できること、全体のサイズを小さくできることから、並列 2 自由度の先端側配置を選択する。

以上の検討より、機構は Fig. 2 の通りとする。また、制御の容易さから、アクチュエータにはステッピングモータを使

用する。

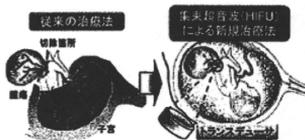


Fig. 1 胎児仙尾部奇形腫の治療

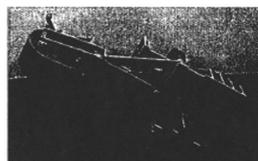
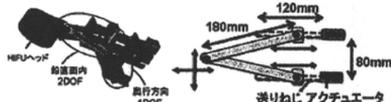


Fig. 2 左) 装置全体図。右) 並列 2 自由度機構。下) 試作機。

5. 位置決め精度の評価

リンク先端に HIFU ヘッド部の模型を設置し、並列 2 自由度(x,y)、直動 1 自由度(z)について、3 次元位置測定装置 (誤差: RMS 0.35mm) を用いて位置・姿勢精度評価を行った。前者については、理論値との差が $x: 0.1 \pm 0.1\text{mm}$, $y: 0.2 \pm 0.2\text{mm}$, $z: 0.0 \pm 0.1\text{mm}$ 、後者については、 $x: 0.0 \pm 0.0\text{mm}$, $y: 0.1 \pm 0.1\text{mm}$, $z: 0.2 \pm 0.1\text{mm}$ 、となった。また、姿勢については、オイラー角での標準偏差は、前者は各軸ともに 0.1° 、後者は 0.0° となった。HIFU ヘッドの位置と姿勢について、3 軸駆動時の累積誤差を推定すると、最大が $y: 0.3 \pm 0.3\text{mm}$ 、標準偏差 0.1° となり、十分な精度を持っていることが確認された。HIFU ヘッドの姿勢変化による焦点位置の位置ずれは各軸とも $\pm 0.2\text{mm}$ であった。この誤差は HIFU トランスデューサの焦点可動範囲内に収まる程度の誤差である。

6. 結論

本研究では、HIFU を用いる胎児期仙尾部奇形腫治療のための位置決め装置を製作した。制作した装置は最大 0.3mm の誤差で位置決めができ、HIFU トランスデューサの位置決めに適用的である。

参考文献

- 1) 千葉敏雄, 胎児外科. 日本評論社, 2007.
- 2) 山下紘正, 他, 胎児心疾患治療のための 2D 超音波画像誘導による集束超音波自動照射システムの開発, 第 6 回生活支援工学系学会連合大会講演予稿集, p.156, 2008.

