

えられる。例えば手技の記録、再生、シミュレーション、伝承、ナビゲーションである。これらのどの要求項目を満たすためにも、先ず手技の記録が必要不可欠である。手技記録に関する既存技術として、マーカーを付けての画像認識や、ジャイロセンサーを付けての姿勢認識などがあげられるが、これらは医師の負担が増加する技術であるため、手技記録実用化が困難である。本開発では医師の負担が増加しない、ビデオカメラのみを用いたマーカーレス手技記録技術開発を行う。

C. 研究結果

1. GPGPU並列計算高効率化

今回のシステムに組み込んでいるGPU (Tesla S1070)は、1ブロック当たりの最大同時実行スレッドが512個、利用可能レジスタ数が16384個である。つまり、1スレッド当たりの利用可能レジスタ数は32個となる。一般的に計算処理が複雑になるほど必要レジスタが増加する。32個を超えるレジスタを要求する複雑な並列計算処理を実行した場合、同時実行スレッド数が減少し、並列性能が悪化する。

昨年度開発した並列処理は要求レジスタ数が54個であったため、同時実行スレッドが256個となり、全体の並列効率は50%であった。

これを改善するために、利用変数の削減、効率的な関数呼び出し方法への変更等、必要レジスタ数を減らすために処理の最適化を行ったところ、要求レジスタ数は40個となった。つまり同時実行スレッドは384個となり、並列効率は75%と50%から25%向上した。

また、並列処理の代表的なオーバーヘッドである、同一リソースへのアトミック処

理を必要最低限にすることで、並列性に改善を加えた。

その他、モンテカルロシミュレーション固有の課題である、X線と電子線の相互反応による粒子発生ランダム性に対しても、十分な計算対象粒子を蓄積してから並列計算を行うなどの改善を行った。

以上の施策の結果、約2倍の計算性能を達成した。並列計算効率化前後のモンテカルロ線量計算時間をまとめた表が以下である。人体モデルに1MVのX線を8方向から照射した場合である。

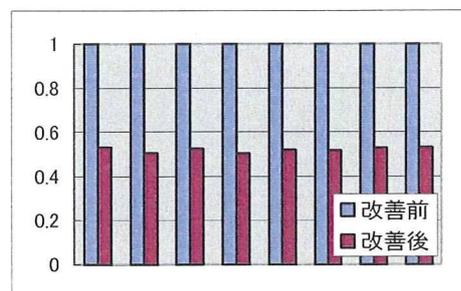


表1. 並列計算効率化前後の処理時間
(改善前の処理時間を1.0)

2. 入力装置調査

コンピュータ装置は、PC、ゲーム、汎用機の3つに大別される。主要装置と、主たる接続機器、主たる入力結果を以下に示す。

装置名称、図	主たる接続機器	主たる入力結果
キーボード 	PC	文字
マウス 	PC	位置
ゲームパッド 	ゲーム	位置
ジョイスティック 	ゲーム	位置
3Dマウス 	3DCAD	位置 姿勢
マイク 	PC モバイル	音声
タブレット 	PC	位置
タッチパネル 	PC, POS	位置

表 2. 主要入力装置と入力結果

放射線治療計画入力は位置入力が重要である。前述一覧より主たる入力結果が位置情報である入力装置を抽出し、装置入力精度、浸透度、操作容易度、価格に関して以下に示す。

装置図	解像度 精細度	浸透度	操作 容易度	価格
	○	◎	◎	1,000円～
	○	◎	△	2,000円～
	○	○	◎	5,000円～
	○	×	○	20,000円～
	○	△	◎	5,000円～
	△	○	◎	30,000円～ (PC向け)

表 3. 主要入力装置と特性

各特性で高い評価を得ているのはマウスである。3D入力手段が進んでいる機械設計領域でもマウスは広く利用されており、放射線治療計画の3D形状入力装置としても十分利用可能と考えられる。

次点はジョイスティックである。直感的に利用可能な入力装置として、空間表現、空間操作などで利用価値が高いと考えられる。

3. 手技認識システム

本システムは各診療現場に設置する必要があるため、安価に構築・設置できることが望ましい。そのため、必要なハードウェアは市販の装置を組み合わせることで実現できるようにシステムを構成した。

下図は、動画から手技に利用する器具をリアルタイムで抽出している事例である。システムが認識した物体を赤い枠で表示している。

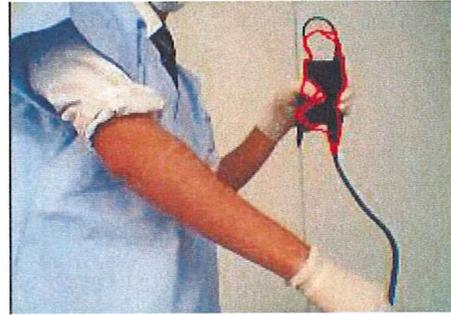


図 1. 物体認識例

(赤枠がシステムが認識した物体)

この物体認識は10fpsの応答速度を得ている。なおシステムで利用した計算機はXeon(2.26GHz)である。

D. 考察

前述の物体認識は2D画像の認識であるが、別の視点からみた物体認識が同時並行で可能であれば、視差を利用した3D情報算出がリアルタイムで可能となる。3D情報算出が実現されれば、シミュレーション、ナビゲーション等の新しいサービスにつながるものと考えられる。

また、物体認識を新しい入力装置として考えると、カメラを用いた新しい入力概念が生まれる可能性がある。

E. 結論

高度な医療技術に対して、電子化による効率化が有効であることが示された。中でもマーカー無しでの物体認識技術は、3D情報化、入力装置としての情報化、等の多くの応用が考えられ、今後も継続研究が強く望まれる分野である。

G. 研究発表

1. 論文発表
なし
2. 学会発表
なし

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

厚生労働科学研究費補助金（活動領域拡張医療機器開発研究事業）
分担研究報告書

高度医療技術の効率化及び標準化の開発に関する研究

研究分担者 永澤 清
GEヘルスケア・ジャパン株式会社

研究要旨 高精細な形態情報に加え、多様ながんの質的情報を取得できる磁気共鳴撮像法（Magnetic Resonance Imaging、以下 MRI）を、治療装置の進歩により放射線照射範囲と照射量の高度な制御が可能となっている放射線治療に積極的に活用することにより、放射線治療の最適治療を構築することを目的とする。報告者は MRI 画像支援技術開発研究を担当し、本年度は、1) 放射線治療支援 MRI 技術調査にて放射線治療支援に必要な装置性能を調査し、精度の向上を優先検討とすることとした。2) 精度向上のために、MRI 撮像と放射線治療を同じ体位にて実施するための、MRI 装置をその機構を実現するという観点から設計、試作した。3) MRI 先端技術調査及びソフト開発を継続して実施した。

A. 研究目的

MRI 画像は空間分解能が優れているだけでなくコントラスト分解能も優れている特長を有するため、非常に多くの形態情報をもたらす。さらに、組織中の水の拡散現象を評価する拡散強調画像、造影剤を使用せずに血管走行が把握できる MR アンギオグラフィなど多彩な質的情報を取得することも大きな特徴である。さらに、広範囲撮像、高速撮像を目指した撮像法や MRI コイルの開発、高磁場装置の活用などにより診断精度をさらに大きく向上させる可能性を MRI は持っている。また、MRI は、X 線 CT や PET (Positron Emission Tomography) 診断などとは異なり、放射線被ばくがないため、必要に応じ何度も検査に用いることができる。一方放射線治療は、がんに対する治療法として重要な手法の一つであり、強度変調放射線治療装置（IMRT）等の治療装置の技術開発により、放射線照射部位と照射量の精密な制御が可能となっている。

上記のような MRI の多彩な生体情報取得技術を IMRT 等の高度放射線治療技術に活用することができれば、放射線治療の治療効果を有意に向上させると期待できる。具体的には、良好な軟部組織コントラストによる対象器官と周囲組織の明瞭な識別、多彩な質的情報による形態的变化では確認することのできない小さながんの広がりや、がんの活性度、周辺組織の機能などを評価出来る可能性がある。本研究は、このような MRI 技術を放射線治療の計画、治療効果及び周辺正常組織の障害の評価等に活用することにより、放射線障害を最小限に抑えつつ、その治療効果を最大化するという、の最適治療の構築を目的とする。本分担研究においては、目的実現のための MRI 技術開発を実施する。

平成 18 年に成立したがん対策基本法にて制定が定められたがん対策推進基本計画が、平成 19 年に閣議決定された。本計画に

においては、10年以内に75歳未満の年齢調整がん死亡率の20%減少が目標の一つとなっており、重点的に取り組む課題の一つとして、放射線療法及び化学療法の推進並びにこれらを専門的に行う医師等の育成が挙げられている。本研究は、上述基本計画の目標達成のための研究の一つとしても位置づけられるものである。

昨年度は、MRI技術調査により、放射線治療に活用できる可能性を有するMRI技術の網羅的な拾い上げ、乳がん放射線治療におけるMRI画像の効率的活用及び副作用低減のための、MRI撮像とRTを同じ体位にて実施できる固定具の設計とミニチュア版の作成、MRI情報の3次元表示ソフト開発を行った。本年度は、放射線治療画像支援MRI装置として必要な性能に関する調査及びこれに基づくMRI装置開発を実施するとともに、MRI最新技術調査及び3次元表示ソフト開発を引き続き行った。なお、平成20年11月に提出した平成21年度の研究計画においては、「①MR技術による放射線治療効果及び副作用研究」として、MR技術シーズの有効性を動物実験をメインとした研究により検証する予定としていた。しかし、その後の研究活動から、放射線治療画像支援としての役割を果たすための基本となるMRI装置改良研究を優先し、その後個々のMR技術評価研究を実施することとし、上述の検討を行うこととした。

B. 研究方法

1) 放射線治療支援MRI技術に関する調査

a. ドクターヒアリング

次年度以降の開発項目選定の参考とするため、放射線診断医、放射線診断分野の基礎研究者を対象にヒアリング調査を行った。ヒアリング内容は放射線治療を支援するためのMR技術に関して現在における解決すべき課題を調査した。

b. アンケート調査

放射線治療画像支援MRI開発のために、放射線治療における画像診断活用の現状、画像診断への期待及び画像診断活用における課題についてアンケート形式にて調査を行った。放射線治療科医師及び放射線科医師を対象とし、各々専用のアンケート用紙を作成し、日本放射線腫瘍学会認定放射線治療認定257施設に配布した。調査は特定非営利活動法人大阪先端画像研究機構に委託した。

c. 学会調査

北米放射線学会（米国シカゴH21.11/28-12/6、日本がん学会学術集（横浜H21.10/1-10/4）、日本がん治療学会学術集会（横浜H21.10/22-10/23）に参加し、RTに活用可能性のあるMRIの最新技術について情報収集を行った。

2) MRIコイル固定具の本試作および評価（コイル内蔵テーブル）

平成20年度は放射線治療画像支援MRI装置開発として、乳がん放射線治療に的を絞り、放射線治療と同じ体位でMRI撮像を可能とするMRマンモコイル固定具の開発を行った。平成21年度は、放射線治療の対象部位がより広範であることと、学会等で行った調査結果から放射線治療と同じ体位で

MRI 撮像ができる部位の拡大を図ることが MRI による放射線治療画像支援に重要との認識に立ち、放射線治療と同じ体位を保ったまま撮像可能な部位の拡大を可能とすることを旨とするにしました。これを実現するためには、放射線治療用固定具を装着したままでの MRI 装置と放射線治療装置の相互乗り入可能性が最適なシステムの要件であるとの結論に至り、これを旨として MRI 装置の開発を実施した。

3) ソフト開発

昨年度は、医療画像から 3Dmesh 画像を作成するための環境構築を行った。本年度は、3DMesh 画像において任意の切断面により裁断された 3DMesh 画像を表示するための開発、及び切断面上に Mesh 表面を描出させる技術の開発を行った。

倫理面への配慮

本年度の研究においては、人を対象とした研究及び動物を使った研究を行っていないため、倫理面への配慮の必要はないと判断した。

C. 研究結果

1) 放射線治療支援 MRI に関する調査

a. ドクターヒアリング

ヒアリング調査の結果、多くの放射線診断医らから聞かれた共通の意見は以下の 2 点であった。

- 放射線治療計画のための CT 画像に対して付加的情報を提供する MR 画像で一番問題となるのは空間分解能と歪みである。

- 放射線治療計画のための CT 画像に対して MR 画像で付加的情報を提供する上で比較的依頼が多い部位は頭部及び前立腺である。また撮像シーケンスに関しては造影 T1 強調画像が最も良く、この理由は腫瘍を明瞭に描出することができるためである。

以下に詳細を記す。

頭頸部の腫瘍は CT で明瞭なコントラストがつかない腫瘍が比較的多く、MR 画像でコントラストの良い画像が得られる場合には、放射線治療計画を立てる上で MR 画像を利用するのは有用であると考えられる。CT 画像に対して MR 画像を重ね合わせる場合、最も問題となるのは MR 画像のゆがみである。一般的に MR 画像の歪みは CT に比べて大きいとされており、特に頭頸部領域では静磁場 (B0) , RF パルス (B1) の均一度が良くない場合が多く、MR 画像の歪みが比較的大きいものになってしまうことが多い。また、どのような撮像シーケンスが放射線治療計画に最も有用かについても注意が必要である。一般的に腫瘍は T2 強調画像で高信号となりやすいが、頭頸部の腫瘍では、T2 強調画像で高信号とならないこともあり、このような事例が起こり得ることを考慮すると造影 T1 強調画像が最も有用であると考えられる。T1 強調画像では、T1 の短い脂肪の信号も高信号となってしまうので脂肪抑制を行ったほうが良いが、頭頸部は B0, B1 不均一の影響が大きいため、脂肪信号の抑制がうまく働かないこともあるので注意が必要である。

放射線治療計画を立てる際に提供する MR 画像の画質に関しては非常に多くの解決すべき問題点がある。最初に問題となるのは

空間分解能である。放射線治療計画を立てる際のCT画像の空間分解能は1mm以下であり、MR画像も当然ながら同程度の空間分解能が求められるが、現状ではそれほど高空間分解能なMR画像を提供できていない。その理由としては、高空間分解能なMR画像を得るには長い撮像時間をかける必要があること、ボクセルサイズの縮小により信号雑音比(S/N)が悪くなるため、S/Nを稼ぐために積算回数を増やす必要があることが挙げられる。また、MR画像に特有の問題として、化学シフトアーチファクトがある。プロトンの化学シフトの違いは面内において周波数エンコーディング方向に対して位置ずれを引き起こすだけでなく、励起プロファイルに対しても位置ずれも引き起こす。これはMRの原理上避けることが出来ないため、仮に高空間分解能なMR画像を提供したとしても、このような潜在的な位置ずれを含んでいることを認識しておく必要がある。

放射線治療計画のためのMR画像の撮像に関する他の問題点としては、テーブル動作制御精度が挙げられる。現在の放射線治療計画用のCT装置は1mm以下の精度でテーブル制御が行われているが、診断用MR装置のテーブル制御精度はそれほど高くないため、治療用CT装置と同程度の精度が望まれる。ただし、頭頸部のがんに関しては動きを考慮して少し照射野を広めに治療計画を立てるのでそれほど問題にはならないかもしれない。

放射線治療医から放射線治療計画時にMR画像を参考にしたいと求められる部位に関しては頭部が最も多い。頭部の腫瘍はCTの造影撮像で比較的良く濃染されやすいにもかかわらず、MR画像による付加的情報を求

める要望が多い。この時求められる画像としては造影T1画像が多い。CTで比較的腫瘍を識別しやすい頭部ですらMR画像への要望があるぐらいなので、今後頭部以外の部位に関してもMR画像が求められる可能性は潜在的に大きい。頭部以外の部位では、乳房のように動きによって変形しやすいものは難しいと思われるが、脳腫瘍や前立腺がんなどは比較的MR技術を取り入れやすいと考えられるので、頭部と前立腺で放射線治療医の要望を満たすMR画像を提供することを最初に検討するのが合理的である。前立腺に関してはCT画像もMR画像も、治療計画時のこれらの画像が実際の放射線照射時を反映しているわけではないので注意が必要である。放射線治療医の要望を満たすMR画像としては、画像の高空間分解能化と歪み補正技術を開発するのが一番重要であり、放射線治療効果判定や副作用予測にどのようなパラメータが有用かはその後の課題であるように思われる。

現状では、放射線治療とその計画を立てるためのCT撮像を別々に行っている。先にも述べたとおり、これでは治療計画時の画像が照射時の体内を反映していないので、CT撮像時と放射線照射時の体位の再現性を検討しなければならない。イメージング装置と放射線治療装置が一体型になっている、もしくは一つのクレードルでイメージング装置と放射線治療装置が繋がっているものが将来的に有用だと思われる。

CT画像とMR画像の重ね合わせに関しては、造影T1強調画像とCT画像の重ね合わせに対する要望が多い。MRIは歪みが大きいという印象が一般的であるが、MRで骨を見る事が出来れば画像の重ね合わせに有効

であると思われる。骨のCT値は並外れて高くCT画像上で抽出しやすいため、MRでも骨を見る事が出来れば、骨構造を基準として画像の重ね合わせができるようになると考えられる。

放射線治療計画や放射線治療の効果判定に関しては、高空間分解能な化学シフトイメージングが有用だと思われる。また、磁化移動を利用した技術では magnetization transfer ratio の有用性が舌がんなどで述べられている。また、将来的に低酸素領域を評価するMR技術が出てくれば、CT画像に重ね合わせると非常に有用だと考えられる。腫瘍内の低酸素領域は放射線抵抗性を示すので、治療計画を立てる上で腫瘍内の低酸素領域を可視化できれば、それに合わせて照射線量分布を計算することが可能となり、治療成績を向上させることが出来る。

b. アンケート調査

放射線治療科は79施設（回収率31%）、放射線診断科は57施設（回収率22%）より回答が得られた。

放射線治療科に関する施設情報は下記のとおり。

- ・ 放射線治療医師数平均3.6名（77施設）
- ・ 放射線治療技師数平均4.3名（77施設）
- ・ X線シミュレータ数平均0.6台（77施設）
- ・ CTシミュレータ数平均0.9台（77施設）
- ・ 放射線治療装置数平均1.8台（77施設）

放射線診断科に関する施設情報は下記のと

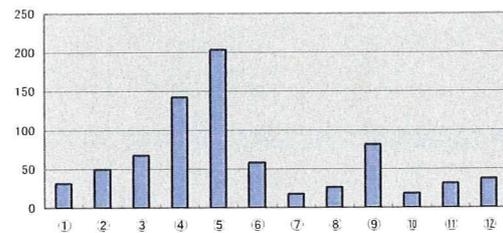
おり。

- ・ 常勤医師数平均8.6名（56施設）
- ・ CT設置数平均3.2台（57施設）
- ・ MRI設置数平均2.5台（57施設）
- ・ SPECT設置数平均1.9台（56施設）
- ・ PET 或いはPETCT導入施設数19施設
（PET5施設、PETCT14施設、PETCT2台が1施設、他はいずれも1台）

Q（放射線治療科）：直近1ヶ月の部位別放射線治療数

- ①脳、②頭頸部、③喉頭・咽頭、④肺、⑤乳腺、⑥婦人科、⑦すい臓、⑧結腸・直腸、⑨前立腺、⑩膀胱、⑪悪性リンパ、⑫骨・軟部、⑬その他（食道、肝臓他）

部位別の平均を下図に示す（有効回答数28施設）。乳腺が最も多く203で全体の約30%であった。2番目は肺で142であり、乳腺と肺で全体の約50%弱を占めていた。以下、前立腺81、喉頭・咽頭67、婦人科58、頸部49の順であった。



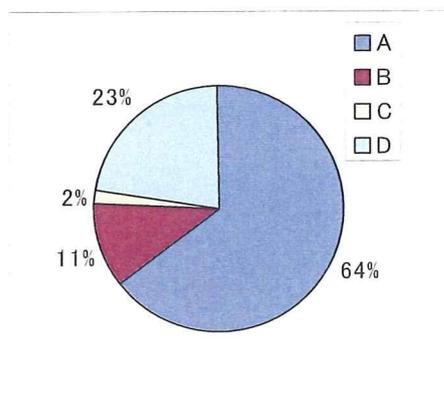
放射線治療数（直近1ヶ月）

Q（放射線科）：直近1ヶ月のモダリティーごとの、のべ検査数とその中での放射線治療科医師からのオーダー数

全検査数、放射線治療科医師からのオーダー数（いずれも平均）及びその割合を示す。いずれのモダリティーについても放射線治療科医師からのオーダーは非常に低い

値であった。

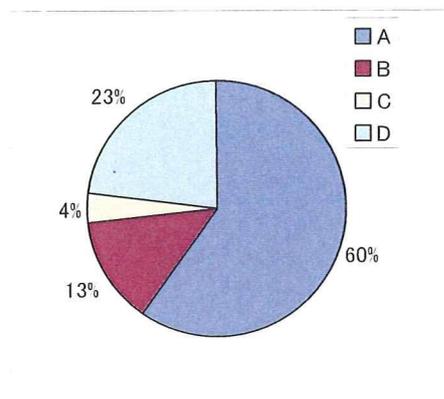
モダリティー (回答施設数)	全検査数 /月 (平均)	放治からのオーダー数/月 (平均)	割合
CT (55)	1781	26	1.5%
MRI (55)	779	6	0.8%
PET (16)	116	4.5	3.8%
SPECT (51)	182	2.9	1.6%



CT オーダーの状況

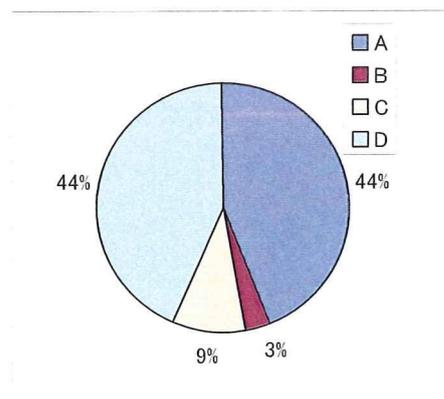
Q (放射線科)：放射線治療科医師はどの程度、放射線科へ画像診断検査をオーダーしていると考えられますか？考えられる状況をモダリティーごとにお答え下さい。(回答は1つ)

- A 放射線治療科医師は、画像検査が有用と考える症例は全て放射線科にオーダーを出している
- B 放射線治療科医師は、画像検査が有用と考える症例全てについて、必ずしも放射線科にオーダーしてはいない
- C 放射線科への検査オーダーは必要ないと考えている
- D その他

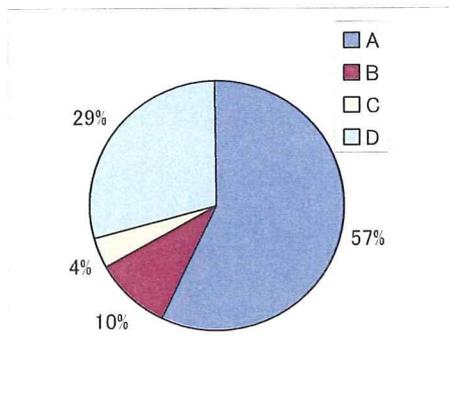


MRI オーダーの状況

いずれも、A 放射線治療科医師は必要と画像検査が有用と考える症例は全て放射線科にオーダーを出しているとの考えが最も多かった。その他の割合が高いが、放射線治療科医師のオーダーは、依頼科或いは主治医を介して行われているというコメントが多数 (18 施設) 寄せられたためである。



PET オーダーの状況



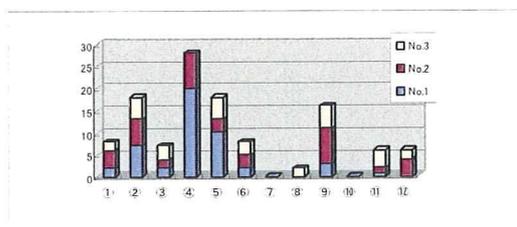
SPECT オーダーの状況

Q (放射線科) : 直近の1ヶ月を想定し、モダリティーごとに放射線治療科医師からのがんの画像診断オーダーが多い部位上位5を順位をつけて。

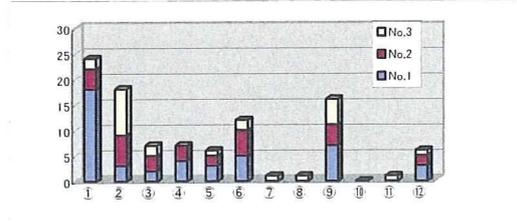
- ①脳、②頭頸部、③喉頭・咽頭、④肺、⑤乳腺、⑥婦人科、⑦すい臓、⑧結腸・直腸、⑨前立腺、⑩膀胱、⑪悪性リンパ、⑫骨・軟部、⑬その他(食道、肝臓他)

CT 及び MRI について、部位ごとに1~3位までのカウント数を示した(オーダー数が少なかったため上位3位までをまとめた)(有効回答数49施設)。

CT は肺、乳腺、頭頸部、前立腺、脳の順、MRI は脳、頭頸部、前立腺、婦人科、肺の順であった。



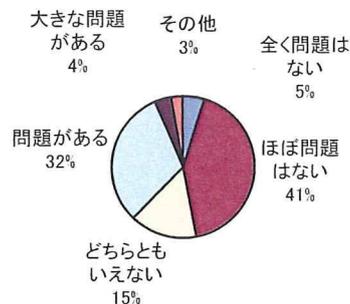
CT : 放射線治療科医師からのオーダーが多い部位 (直近1ヶ月)



MRI : 放射線治療科医師からのオーダーが多い部位 (直近1ヶ月)

Q (放射線治療科) : 日常のCT 或いはX線シュミレーターによる放射線治療計画において、何らかの問題点を感じておられますか?

問題点はないと回答した放射線治療科医師は全体の46%、何らかの問題点があると回答したのは36%であった。どちらともいえないという回答が15%であった。

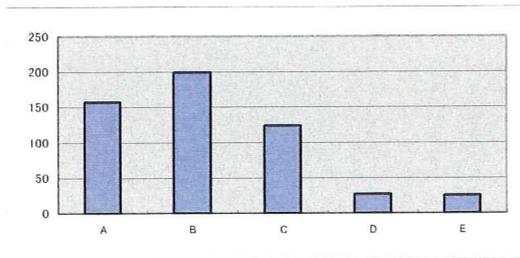


Q (放射線治療科) : 問題があると回答された方について、問題点の具体的な内容について、表に記載の部位ごとに、下記A~Eの中に該当するものがあればお選び下さい(いくつでも可)

- A 組織間のコントラストが低く、周辺臓器との識別が難しい
- B 腫瘍のコントラストが低く、腫瘍の識別が難しい

- C 形態情報以外の情報（機能情報など）が
えられない。
- D 撮像時間が長い
- E 被ばくがある

コントラストに関連する 2 つの問題点
が多数であった。腫瘍を識別するための
コントラストの問題が一番多く、次に臓
器を識別する組織間コントラストの順で
あった。形態情報以外の情報が得られな
いという問題点も比較的多く指摘されて
いた。被ばくや撮像時間を指摘する医師
は少なかった。



- Q（放射線診断科）：下記モダリティー
が放射線治療に使われるとしたとき、
表に記載の目的ごとに、その有用性に
ついて、A～Dのうちから1つを選び○
を付けて下さい。表に記載の目的以外
に有用な目的が考えられる場合には、
その他の目的に記載をお願いします。
- A 有用であると考えられる、
 - B 参考にはなると考えられる、
 - C 有用ではないと考えられる、
 - D わからない

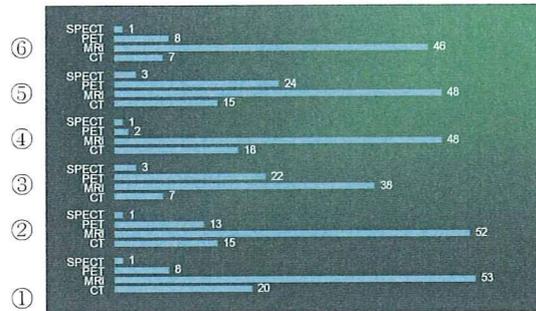
目的

- ① 標的臓器と周辺臓器の識別
- ② 腫瘍の進展範囲の確認

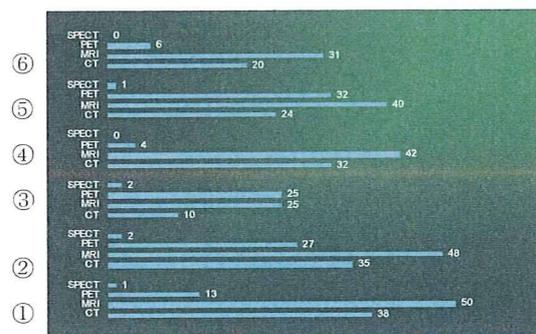
- ③ 腫瘍の悪性度評価
- ④ 周辺正常組織の重要領域（重要機能
等）の把握
- ⑤ 放射線治療後の腫瘍の変化の確認
- ⑥ 放射線治療後の周辺組織変化の確認

モダリティーごとに A 有用であると考え
られるとされた数をまとめた。治療数の多
い脳、頭頸部、咽頭、肺、乳腺、婦人科及
び前立腺の結果を示す。

肺を除くといずれの部位、目的において
も MRI が最も評価が高かった。



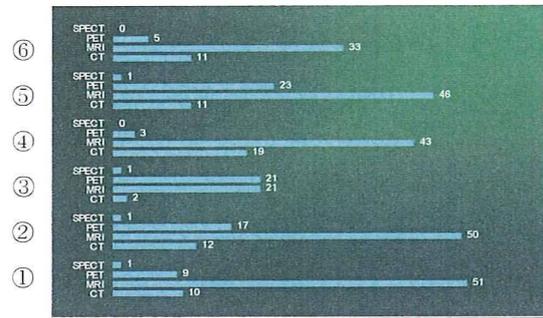
脳



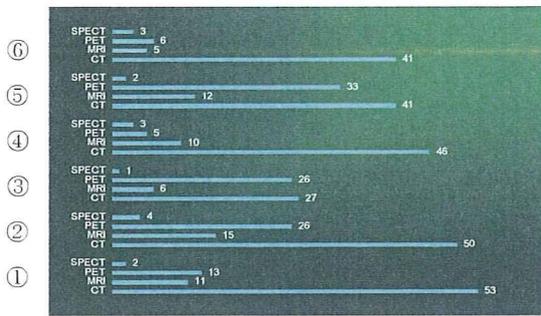
頭頸部



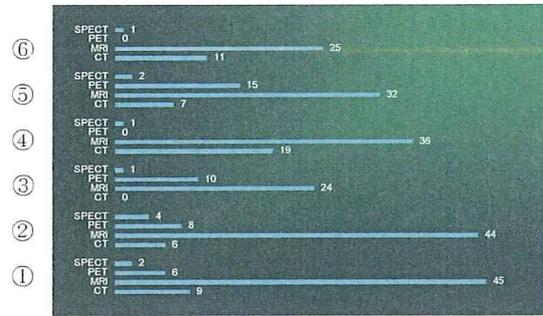
咽頭



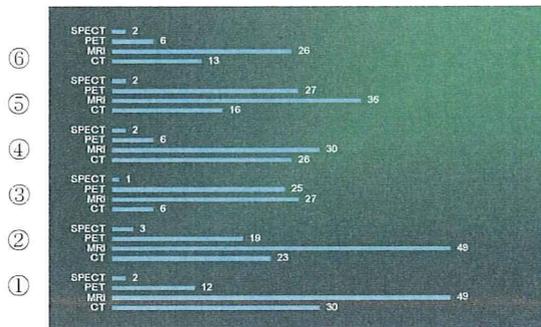
婦人科



肺



前立腺



乳腺

Q (放射線治療科、放射線科共通) : 今後どのような条件が整えば CT 以外のモダリティが、がん放射線治療にさらに活用されるようになると思いますか? 重要と考えられるものを3つお選び下さい。

- ①放射線治療科医師が有効性を自身でより多く経験できれば
- ②院内のクリニカルパスに入っていれば
- ③画像診断機器の位置精度がさらに向上すれば
- ④放射線治療科医師の画像診断に対する知識が上がれば
- ⑤放射線治療専用の画像診断装置が設置されれば
- ⑥検査枠の確保が容易であれば
- ⑦患者負担コストがもっと安ければ
- ⑧放射線治療用の画像診断の保険点数が高

くなれば

⑨がん種ごとのガイドラインに掲載されれば

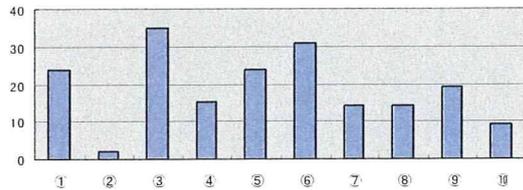
⑩その他

放射線治療科医師は、③画像診断機器の位置精度の向上が最も多く、約50%の医師から選択されていた。次が⑥検査枠の確保が容易になれば、①放射線治療科医師が自身で有用性を多く経験できれば、⑤放射線治療専用の画像診断装置の開発が同数、⑨がん種ごとのガイドラインへの掲載の順であった。放射線科医は⑥検査枠の確保が容易になればが最も多く、次は③画像診断機器の位置精度の向上と⑨がん種ごとのガイドラインへの掲載の順が同数であった。

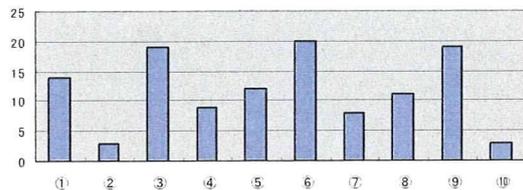
また、その他⑩として、下記のような意見が寄せられた。

- ・ CT とのフュージョンが可能となること、フュージョン技術の向上、治療計画装置上で再現性よくフュージョンできること、フュージョンがスムーズにできること
放射線科医師 2 名 、
放射線治療科医師 5 名
- ・ 診断科と治療医の協力体制の強化
放射線科医師 1 名 、
放射線治療科医師なし
- ・ 診断体位から治療体位への変換ソフトの普及、治療体位でのフュージョンが簡単に。
放射線科医師なし 、
放射線治療科医師 2 名
- ・ 一般的な診断目的以外として検査が必要。
放射線科医師なし 、

放射線治療科医師 1 名



放射線治療科



放射線科

c. 学会調査

学会調査により、北米放射線学会にて報告された、MR Elastography に新たな技術としての可能性が示唆された。本法は生体組織の弾性を MRI にて定量的に評価する最新技術で、米国では主に肝硬変になる前の線維化に関する情報の取得に用いられているが、学会では腫瘍で変化する組織性状を表す新たな指標としての可能性についても報告されていた。

2) MRI コイル固定具の本試作および評価(コイル内蔵テーブル)

現在市販されている MRI 装置は MRI 装置で撮像される画像が最良となるように設計されている。人体の MRI 検査は、その動きや MRI 磁石構造部内部での人体の置かれ方によりその画質が左右される。従って画質を最良とするために被検体に普遍的な検査

台上での状況、すなわち仰臥体制を強いて
る。しかし、放射線治療の画像支援という
観点に立つと、放射線治療時と同じ体位、
もっと厳密にいうならば放射線治療用の固
定具を装着した体位で MRI 画像を撮像する
ことが重要であり、従来の設計概念ではな
く、前述した検査機序が成立する設計概念
にたった開発が必要と結論した。

いろいろ検討を重ねた結果、このような
検査機序を成立させ、MRI の画像撮像能力
を最大限に生かすため、

- ① 放射線治療装置と放射線治療装置の間
の相互乗り入れにおいて、放射線治療用
固定具を装着した患者の体位が保持さ
れること。
- ② MRI 画像の撮像能力を最大限に生かす
ため、マルチコイル型の受信専用 RF コ
イルを使用すること

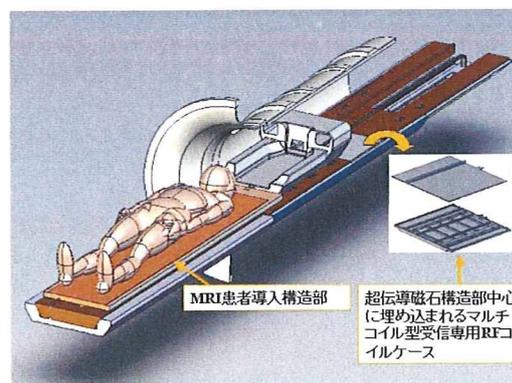
を放射線治療画像支援に至適な MRI 装置の
要件とした。

MRI 装置の仕組みを考えると、①の要件
を満たすにはシステムに組み込まれた RF
コイルを使用することが望ましい。一方②
の要件は患者の撮像対象部位になるべく密
着させて受信専用コイルを被検者に装着す
ることが望ましく、また通常マルチコイル
型の受信専用コイルは患者の上側、下側
に対抗して配置する。患者の下側にコイル
を配置する場合は一度検査テーブル上から
体位変更のために起き上がる必要があり、
この場合はコイル装着のため被験者の体位
が保てない。従ってこれら2つの要件を同
時に最適な状態で組み込むことは難しく、
優先順位をつけて2つの要件をシステムへ
の組み込むことが重要である。研究目的が
放射線治療の MRI 画像による支援であるこ

とから、①を最優先事項とし、②は①を優
先させた上で最良の方法をとるという方針
の元、検討を重ねた結果、前述の2つの要
件を満たす具体的な設計要件を

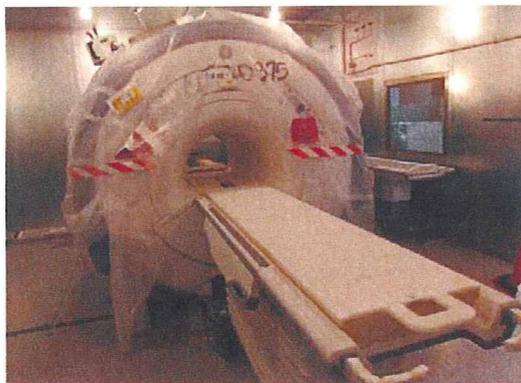
- マルチコイル型の受信専用 RF コイル
は患者搬送台下部に備え付けとする。
- 備え付けマルチコイル型受信専用 RF
コイルの受信能力を最大限引き出すた
め、
 - 埋め込み位置は磁石構造部中心の
撮像可能ボリュームの位置とする。
 - 不要なノイズの混入を避けるため
RF コイルの感度範囲は撮像可能ボ
リュームの範囲に限定する。
 - RF コイルと被験者の距離がなるべ
く最小となるような患者導入構造
部機構とする。

とした。この設計要件を元に機構設計の検
討を進め、マグネット内部の患者導入構造
部下部を RF コイル埋め込み可能とするた
めに新たに設計し、新設計のマグネット内
患者導入構造部下部構造に合わせて患者導
入部の機構を再設計した。この結果新たに
設計された MRI の構造を以下に示す。



新たに設計された MRI の構造

この設計に基づき試作を実施し、MRI 撮像が可能な状態にできることを確認した。



試作品

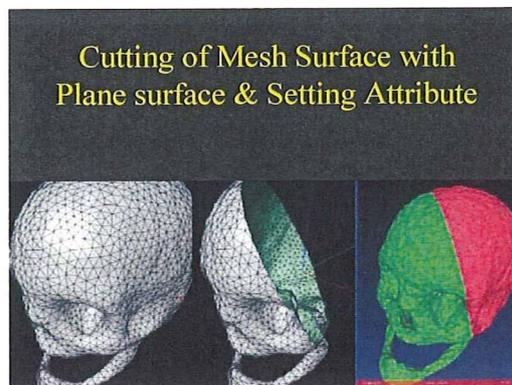


試作品による MRI 撮像の確認

3) ソフト開発

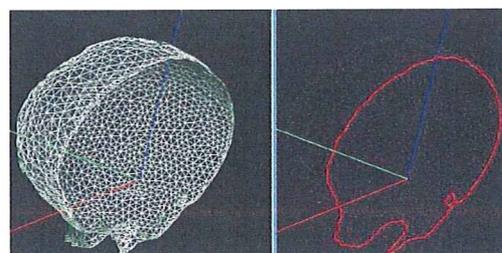
3DMesh 法において任意の断面により裁断された 3DMesh 画像を表示するための開発、及び断面面上に Mesh 表面を描出させる技術の開発を行った。裁断された 3DMesh 画像を表示するためには、断面面を滑らかに表示するために、Mesh 画像で作成する三角形をさらに細かく作成しなおすアルゴリズムを作成した。結果を右上図に示す。真ん中に開発ソフトによる断面面を、右に断面面を作成しそれを結合したものを示す。左に示したもとの画像と同じものを再構成で

きており、目標としたレベルの断面面を表示できることを確認した。



3Dmesh による断面面表示

また、裁断された 3Dmesh 画像の表面を抽出し再断面に投影するアルゴリズムを開発した。結果を下図に示す。左側に矢状面を断面面として裁断された 3Dmesh 画像を、右側には矢状面で裁断された 3Dmesh 画像の断面面上の輪郭像を示す。3Dmesh 画像の輪郭が精度良く抽出されていることが確認できた。



3DMesh 画像とその断面面上の輪郭像

D. 考察

1) 放射線治療支援 MRI に関する調査

a. ドクターヒアリング

ドクターヒアリングの結果、同一体位での CT, MR 撮像は重要な課題であり、また、MR 画像に潜在的な空間的歪みがあることも重要視すべきであることが示された。この空間的歪みは、MR の撮像原理が静磁場での

プロトン原子核スピンを対象とした磁気共鳴現象を利用する以上、生体内における磁場強度の不均一、変動、揺らぎが原因で必然的に生じてしまう。特に Echo Planar Imaging をベースとする高速撮像技術では、傾斜磁場印加により空間的歪み量が多いとされている。近年、空間的歪みを低減する MR 撮像技術がいくつか提唱されているので、次年度以降これらの技術を開発項目として取り入れていくのも 1 つの方向性だと思われる。

また、現時点では頭頸部を対象としたがんの描出には造影 T1 強調画像が最も有用であることが示されているが、放射線治療計画のために造影 MR 撮像を実施するのは、侵襲性の観点から非造影で腫瘍を明瞭に描出する撮像技術の開発も必要だと思われる。

b. アンケート調査

アンケート調査より、放射線治療科医師から、放射線科への直接の依頼は殆どないことが分かった。これは依頼科あるいは主治医をとおして依頼されているためと推察される。放射線治療科医師から依頼科へどのような画像データの依頼がなされているか、また、依頼科を介して提供される画像がどの程度満足するものであるかなどは今回の調査範囲外であった。放射線治療科医師が活用している X 線或いは CT シミュレータにて問題を感じているとしたのは、放射線治療科医師の 36% で、問題点は腫瘍或いは周辺組織コントラスト不良が多数であった。絶対数は少ないものの、放射線治療科医師による放射線科への直接依頼は、腫瘍或いは目的臓器をより明確に識別するためとい

う目的が主であると推察される。放射線治療科医師からのオーダーが多い部位は CT が肺、乳腺、頭頸部、前立腺の順で、放射線治療件数が多い部位に比較的バランスよく依頼がなされていた。一方 MRI については、頭部が多く、頭頸部、前立腺、婦人科の順であり、これらは組織コントラストの問題が多く指摘された部位であった。放射線治療件数の最も多い乳腺へのオーダーは少なかった。

放射線治療における画像診断の有用性について放射線科の調査では、肺を除けば全ての部位、全ての目的において MRI が最も評価が高く、放射線治療において様々な目的に活用できる可能性が改めて確認された。

今後画像診断が放射線治療にさらに活用されるための要件についての調査では、ベスト 3 は放射線治療科医師が画像位置精度の向上、検査枠の確保、自身での有用性の経験と放射線治療専用装置の設置（同数）であった。放射線科医師では、検査枠の確保、画像位置精度の向上とガイドラインへの記載が同数であった。放射線治療科、放射線科医師とも、特に放射線治療科医師は放射線治療に画像を活用するためには、位置情報などの精度のさらなる向上が重要であると考えていることが分かった。また、そのための要件として、CT とのフュージョンが再現性良くスムーズに行えること、さらに、放射線治療と同体位での撮像或いは同体位でのフュージョンが可能となることが重要であると考えられた。これらは、一般的な画像診断にはあまり要求されない要件であり、放射線治療画像支援のためには、

これに特化した研究開発が必要であると
考えられた。また、現状では検査枠の確
保も問題であり、放射線科医師はガイド
ラインに記載されることがまず必要であ
ると考えており、放射線治療科医師は放
射線治療専用装置の設置も一つの方法と
考えていることが推測された。

c. 学会調査

新しい技術として、MRElastography の可
能性が示唆された。腫瘍に関する評価はそ
の臨床研究が開始された段階であると考え
られるため、今後の進捗を調査していく必
要があると考えられた。

2) MRI コイル固定具の本試作および評価(コ イル内蔵テーブル)

2010 年度は放射線治療時と同じ体位を保
ったまま MRI 撮像を可能とする MRI 装置を、
その機構を実現するという観点から設計、
試作した。翌年度はこの新たに設計された
機構のもと、MRI 撮像が問題なく行えるこ
とを検証する予定である。

3) ソフト開発

3Dmesh 法において、任意の断面により
裁断された 3DMesh 画像を表示するための
アルゴリズムについて検討し、2 次元画像
で作成する三角形をさらに細かいレベルで
作成することにより、目標とするレベルの
3DMesh 画像を得ることができた。また、裁
断面上に 3DMesh 画像の輪郭を描出するた
めのアルゴリズムも検討し、精度良く
3DMesh 画像の輪郭を描出することが出来た。
来年度は本描出アルゴリズムを腫瘍画像に
適用することで腫瘍の 3DMesh 画像の作成

及び任意の断面における腫瘍輪郭描出の
可能性を検討する。

E. 結論

本年度は放射線治療画像支援装置として
の MRI 装置性能を追加調査し、精度の向上
改良を優先事項として開始し、MRI 撮像と
放射線治療を同じ体位にて実施するための、
MRI 装置をその機構を実現するという観点
から設計、試作した。来年度は、改良をさ
らに詳細に進めるとともに、画像の歪み低
減など撮像法の改良検討にも着手する予定
である。

G. 研究発表

1. 論文発表

なし。

2. 学会発表

「MRI による腫瘍診断の最近の話題」第
GE 横河メディカルシステム (株) 永澤
清 18 回日本がん転移学会学術総会

H. 知的財産権の出願・登録状況

1. 特許取得

本年度の実績なし。

2. 実用新案登録

本年度の登録なし。

3. その他

特になし。

分担研究報告書

高度医療技術の効率化及び標準化の開発に関する研究

研究分担者 佐野 浩

HOYA 株式会社 PENTAX ライフケア事業部 医用機器 SBU 開発統括部 先端技術担当部長
研究要旨

将来の画像支援技術の発展による高度治療装置に関わる、体内深部等の病変に到達して癌切除等の治療を行うことを目的とした、軟性内視鏡を基本とする新たな手術装置の開発に関して、研究2年目の本年度では、早期の臨床応用を目指した末梢肺がん診断、治療システムとして親子方式を採用した軟性気管支鏡の検討を行った。

また、体腔内手術装置に関しては、昨年度の装置の改良を検討した。

親子式気管支鏡では、診断用として外径の細いタイプ、処置用としてチャンネル径が大きいタイプの2種類の開発を開始し、本年度では診断用の試作機を作製した。診断用モデルの親機先端湾曲部外径はφ5.94mmであり、φ3.35mmのチャンネルを持つ。子内視鏡の外径はφ2.75mmで、親機のチャンネルから子内視鏡を挿入し親内視鏡では到達困難な抹消へ侵入する。親内視鏡、子内視鏡とも画像系はファイバー方式を採用し操作部に設けられた接眼部に内視鏡用ビデオカメラシステムを装着することで、モニタに画像を映し出すようにした。

さらに、親内視鏡に対する子内視鏡の移動が円滑に行えるようにするとともに、所定の位置で固定できるようにした接続部の開発も行い、試作機を作製して机上にて内視鏡への接続や所定の位置で固定可能であることを確認した。

また、体腔内手術装置に関しては、主に先端アーム部の応答性を改良すべく、手術ユニットの一つである把持鉗子部の駆動力伝達系にギア方式を検討することにより、昨年度の構造に比べ鉗子の把持力が約3.6倍程度に向上することがわかった。また、アームのワイヤ牽引機構の摩擦低減化として、ベアリングによるガイド方式を検討し、昨年度採用した牽引機構に比べて牽引力量が最大57%低減されることがわかった。

A. 研究目的

本研究では、高度医療技術としての画像支援技術が発展する将来に備え、高度治療装置の開発を行う。そこで従来、体内深部、狭小部、直視できない等の理由により、手術困難であった領域の癌切除等の診断、治療を可能とするため、軟性内視鏡を基本構造とした診断、治療用装置の開発し、広い領域の手術を可能にすることを目的としている。

1. 親子式気管支鏡

現在マルチスライス CT などの検査機器の発達に伴い、早期肺癌の発見が可能になりつつある。しかしながら、早期肺癌が末梢に存

在した場合、その適切な低侵襲診断、治療法が確立されていないのが現状である。

中枢気管支であれば、従来の気管支鏡でも十分アクセスが可能であるが、細径の気管支鏡で末梢へアクセスしようとしても、従来の気管支鏡では駆動力が先端に伝わりにくく操作が困難で結果的にアクセスできないのが現状である。そこで、中枢部まで気管支鏡を挿入した状態で経気管支生検を行うことや、体外からの経皮的針生検を行うことなどが行われているが、経気管支生検の場合は、鉗子の目的部位への導入が困難であり、経皮的生検の場合は生検針が生体組織を貫通するため、合併症の問題を抱えており低侵襲性

が確保されていない。

本研究では肺末梢にできた早期がんを低侵襲で診断、治療できるシステムの開発を目指している。

全体構成としてはマルチスライス CT など高精度撮影装置で病変部の位置を把握した後、気管支ナビゲーションシステムのサポートのもと、軟性気管支鏡を用いて末梢の腫瘍組織近傍までアクセスし、生検やブラキセラピーを行うことを想定している。

その中で、肺深部である末梢領域へアクセス可能な、新たな気管支鏡を実現するために、親子方式を採用した気管支鏡の開発を行う。

2. 体腔内手術装置

また、体内深部手術装置として、可撓性を有し内部に複数のチャンネルを設け、処置部位が視認可能な可撓外筒と、前記可撓外筒に設けたチャンネルに挿入可能で、手術等に用いられる術具を手元操作によって所望の方向に向けて患部の把持、切除等を行う内視鏡的手術ユニットからなる手術装置の開発として、昨年度の研究結果にて各種動力伝達系の改善の必要性が確認されたことから、本年度では改良案の基礎検討を行う。

B. 研究方法

本年度は、研究目的に合わせて以下に示す、生検鉗子が使用可能な診断用モデル及び、ブラキセラピー用線源誘導チューブを挿入可能な治療用モデルの設計開発を行う。

その主な構成はオーバーチューブとして主に気管支中枢部でのアクセスルートを確保する役割を担う親内視鏡と、末梢部へ進入し腫瘍へ近づくための子内視鏡、及びそれらを接続する接続部からなる。

1-1. 診断用親子式気管支鏡

子内視鏡は外径1mmの鉗子が使用可能な鉗子チャンネルを持つことが必須となる。そこ

から、可能な限り観察系、照明系を小さく構成し子内視鏡の外径を小さくする。観察系を小さく構成する関係で、イメージファイバ光学系を採用し、操作部には湾曲状態を保持するためのブレーキ機構を持たせる。観察は操作部頂部に設けられた接眼部に接続された内視鏡用ビデオカメラシステムによってモニタに内視鏡像を映す。湾曲方向は従来の気管支鏡と同様に2方向とする。

親内視鏡は、子内視鏡が挿入できる鉗子チャンネルを持つ内視鏡となる。このとき、進退、回動性を確保するために子内視鏡と親内視鏡のチャンネルのクリアランスが0.5mm程度となるように設定する。子内視鏡と同様に外径を小さくする関係で観察系、照明系を小さく構成するためイメージファイバ光学系を採用し、内視鏡用ビデオカメラシステムを用いてモニタ上に内視鏡像を映す。

接続部は、洗浄性を考慮し、親内視鏡、子内視鏡ともに着脱可能とし子内視鏡の保持が可能であることが必須となる。術者が1人でも使用可能なように親内視鏡の操作部と子内視鏡の操作部はなるべく近接させ、子内視鏡の進退時に親内視鏡に不要な負荷がかからないような構成とする。

1-2. 治療用親子式気管支鏡

ブラキセラピー用線源誘導チューブが挿入可能なφ2.0mmのチャンネルを持つ子内視鏡を作成する。それ以外については診断用親子式気管支鏡と同じコンセプトで設計を行う。

2. 体腔内手術装置

本年度では、先ず各関節が湾曲した際や、可撓外筒が撓んだ際の他の湾曲部の動力伝達系への影響を検証したところ、大きな影響を与えていることがわかった。そこで、前記状態での挿入部内の動力伝達系の機構的な改善が主目的となる。可撓外筒内部の動力伝

達系は従来の内視鏡構造を基本としているが、アーム装置の挿抜が可能なことなど、想定された使用を考えた場合、機構的な構造の変更は難しい。

一方で、アーム装置先端部はセグメント構造でワイヤ牽引により湾曲させているので、重複する自由度との兼ね合いで、現状でも構造検討の余地が残っている可能性がある。

一般的に摩擦が大きいとワイヤの摩擦が進みやすく耐久性の問題が出やすくなる。そうすると素線の細い柔軟なワイヤは不適当な場合が多い。一方で、耐久性を考慮して素線の太いワイヤ選択すると、小さい湾曲半径で曲げようとした場合、大きな反発力が発生し、より摩擦が大きくなってしまふ。したがって、摩擦を低減することは耐久的にも応答性的にも利益がある。

昨年度は従来の内視鏡構造を踏襲した形で減摩擦剤などによって摩擦は抑えているものの、効果としては不十分と考えられる。本年度はアーム装置先端部の摩擦低減に向けてアーム先端部のワイヤ牽引構造を検討する。

また、昨年度は両牽引式の把持鉗子を作成したが、実際に使用する際は把持力が不十分であった。その原因として駆動系での牽引力のロスがあげられた。そこで、牽引力のロスの低減を目標とし、駆動機構の検討を試みた。

(倫理面の配慮)

試作機を用いた臨床研究を行う場合には、「臨床研究に関する倫理指針」に基づいて、必要な契約書等を締結したうえで実施する。

C. 研究結果

1. 診断用親子式気管支鏡

外径1mmの鉗子が内視鏡の鉗子チャンネル挿入可能なように内径を $\phi 1.15\text{mm}$ とし、配置面積が小さいことから対物レンズとして、セ

ルフォックレンズを採用した。また、観察系はイメージファイバー光学系を採用することで軟性部外径を $\phi 2.79\text{mm}$ に抑えることができた。観察画像は操作部頂部に設けられた接眼部に内視鏡用ビデオカメラシステムを接続してモニタに写すようにした。

湾曲方向は2方向で湾曲角は従来の気管支鏡と同程度とした。

従来ライトガイドとして透過性に勝るガラスファイバ束が用いられているが、本モデルでは、最小湾曲半径が小さく耐久性に勝るプラスチックファイバを採用した。

軟性管の操作部側は接続部のシース部との境目で、子内視鏡の進退、回動操作時に大きな力がかかり座屈が発生しやすいので、P T F E製の補強パイプを可撓管外装に取り付けた。

親内視鏡は子内視鏡を挿入する大口徑チャンネルを持つ事になり、挿入性や回転追従性を考慮した結果、チャンネル内径は $\phi 3.35\text{mm}$ となった。このとき観察系はイメージファイバー光学系を採用することで挿入部外径は従来の気管支鏡と同程度の $\phi 6.17\text{mm}$ に抑えることができた。湾曲方向は2方向で従来の気管支鏡と同程度にした。

試作した接続部は洗浄性を考慮し親内視鏡、子内視鏡ともに着脱自在である。親ベース部とシース部からなり、シース部軸方向へ進退させることで親内視鏡の先端からの突出量を定めることができる。シース部には等間隔で溝を設けてあり、クリック感によっておおよその突出量が感覚的にわかるようになっている。接続部にはブレーキ機構が設けてあり、可動時の抵抗を調整することができ、位置の保持が可能である。親内視鏡先端からの子内視鏡の最大突出量は 102.5mm とした。

このようにして作製した試験機を肺モデル(AIRSIMBroncho/日本ライトサービス㈱、Bronchoscopy Training Model/KOKEN)に挿入し、観察が可能であることを確認した。