

令和 3 年 6 月 2 日現在

機関番号：32206

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H02553

研究課題名(和文)IVRの有効性・安全性向上にむけた拡張現実および三次元モデルの相互活用環境の構築

研究課題名(英文)Complementary use of augmented reality and 3D printing to improve the effectiveness and safety of interventional radiology procedures

研究代表者

大友 邦(Ohtomo, Kuni)

国際医療福祉大学・本部・学長

研究者番号：80126010

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 24,300,000円

研究成果の概要(和文)：画像下治療(Interventional Radiology)の領域に、拡張現実(Augmented Reality)および三次元プリンティング(3D Printing)の技術を応用することにより、画像下治療の有効性および安全性向上につなげることを目的とし、三次元プリンティングとしては、術前シミュレーションモデルの作成方法を確立し、有用性の評価を行い、仮想現実システムとしては、三次元プリンティングモデルを活用しながら、コンピュータ断層画像(CT; Computed Tomography)などによる三次元画像を投影するシステムの構築を行い、引き続き、システムの改良を進めたいと考えている。

研究成果の学術的意義や社会的意義

画像下治療(Interventional Radiology)は、低侵襲な治療・手技ではあるが、他の選択肢との優位性を示すためには、有効性および安全性の向上が不可欠である。通常、画像ガイドに使用する画像は二次元であり、三次元プリンティングによるシミュレーションモデルや仮想現実システムにて、術前および術中において、三次元の情報を活用することにより、手技の有効性(治療成績)および安全性の向上につながると期待される。

研究成果の概要(英文)：The aim of this research was to apply the technologies of augmented reality (AR) and three-dimensional (3D) printing to the field of interventional radiology for the improvement of the effectiveness and safety of interventional radiology procedures. We established a method of creating three-dimensional printing simulation models and evaluated them for simulation of interventional radiology procedures such as endovascular treatment. In addition, we developed an augmented reality system to project three-dimensional images reconstructed from radiological images such as computed tomography (CT) onto a monitor with three-dimensional printing models used for evaluation of the system. We are planning to continue to further improve the system.

研究分野：放射線診断、IVR

キーワード：放射線 IVR

1. 研究開始当初の背景

画像下治療 (Interventional Radiology) は、低侵襲な治療・手技として、放射線科医の臨床における役割として大きな割合を占めてきている。近年の画像診断機器の発展とともに、画像下治療にも進歩が見られ、血管系、非血管系といった大まかな分類をはじめ、幅広く、多種多様な領域にひろがっている。内視鏡などでは、当然ながら、直視下に手技が行われるが、直視では確認および到達が困難な病変に対して、超音波や CT (Computed Tomography) をガイドとした手技が行なわれる。超音波ガイド下における手技は、リアルタイムに画像を確認しながら進められる点において理想的であるが、必ずしもすべての病変が描出可能ではなく、とくに、肺や骨、それらが重なる領域では使用できず、それらの場合において、CT ガイド下での手技が行われることが多い。CT ガイド下における手技では、穿刺針の先端と CT の撮像を繰り返して、画像を確認しながら手技を進めていくが、実際に針を進める時は、CT 透視下でない限り、実質的には盲目的である (Wu et al. AJR Am J Roentgenol 2011)。当然、CT 透視下であれば、リアルタイムに画像を確認しながら手技を進めることができるが、術者および患者の被ばく量の増加が問題となりうる (Chintapalli et al. AJR Am J Roentgenol 2012)。CT ガイド下での手技が増加してきている現在においては、術者の被ばく量の増加は重要な問題である。撮像条件を抑えることにより被ばく量を低減することはできるが、当然ながら、視認性とはトレードオフの関係にあり、場合によっては、手技に影響をもたらさう。一方、最近の血管造影装置では三次元画像が取得可能となってきており、ロードマップとして透視画像に重ね合わせることも可能となってきている。

拡張現実 (Augmented Reality; AR) は、仮想的な現実空間を構築して提示する仮想現実 (Virtual Reality; VR) とは異なり、現実環境に計算機により新たな情報を付加して提示する技術である。近年では、スマートフォンといった携帯端末の発展により、一般社会にも普及しつつあり、搭載カメラにより取り込まれた画像に、三次元 CG (Computer Graphics) を重ね合わせて表示するなどの利用がなされてきている。現在、CT および MRI (Magnetic Resonance Imaging) では、三次元画像が当然のように取得されるようになってきており、これらの三次元画像を直視下の画像に重ね合わせることが可能となれば、本来見えないものも直接見ながら手技を行うことができ、経皮的生検およびドレナージをはじめとした、画像下治療・手技において、非常に有用と考えられる。

三次元プリンティング (3D Printing) は、三次元データをもとにして立体を造形する技術であり、基本的には、断面形状を積層していくことで立体物を作成する。これまでは非常に高価であり、限定的な用途にのみ使用されていたが、最近になり低価格化するとともに、一般にも加速度的に普及してきている。医療の分野においても、気管の裏打ちとして使用されるなど、応用が進んでいる (Zopf et al. N Engl J Med 2013; Zopf et al. JAMA Otolaryngol Head Neck Surg 2014)。ある程度のプリンターであれば、200-300 万円程度で入手可能となっており、家庭用のピッチの粗いものであれば、数十万円程度で販売されるようになってきている。これまで、外科手術の術前検討モデルとして作成されることはあったが、画像下治療の領域においても、術前シミュレーションに活用することにより、手技の有効性および安全性の向上に寄与するものと考えられる。

2. 研究の目的

本研究では、これらの近年実社会において加速度的に応用が進んできている、拡張現実 (Augmented Reality; AR) および三次元プリンティング (3D Printing) の技術を、相互活用的に画像下治療 (Interventional Radiology) の分野に応用し、その有効性および安全性の向上、被ばくの低減につなげ、当該疾患の治療成績の向上に寄与することを目的としている。

三次元プリンティングとしては、画像下治療および手技において、術前のシミュレーションや評価に使用可能な血管および臓器モデルの作成方法について確立し、三次元モデルの正確度と精度を確認した上で、術前および術中のガイドやシミュレーションモデルとして評価を行う。

仮想現実システムとしては、上記の三次元プリンティングモデルを活用しながら、CT (Computed Tomography) などによる三次元画像を投影するシステムの構築を段階的に進め、画像下治療および手技において使用可能とする。

3. 研究の方法

三次元プリンティングとしては、まず、必要となる血管および臓器モデルの作成にあたり、造形方式、素材について検討し、妥当な作成方法について確立する。

画像下治療の術前シミュレーションモデルとして、腹部臓器を対象とし、動脈瘤や狭窄といった異なる形状において、三次元プリンティングモデルの作成を繰り返し、CT (Computed Tomography) ないし MRI (Magnetic Resonance Imaging) にて撮像、計測を行うことで、モデルの正確度および精度 (再現性) を評価する。

実際の画像下治療の術前シミュレーションとして三次元プリンティングモデルを使用し、現実の治療へのフィードバックおよび対比を行う。また、術前および術中のガイドとしての三次元プリンティングモデルを作成し、その有用性を確認する。

仮想現実システムとしては、固定および移動させたカメラから取得した画像に、CT などにもとづく三次元画像を投影するシステムの構築を段階的に進め、随時、CT ないし MRI などの画像から構築した三次元プリンティングモデル (ファントム) にて評価する。

4. 研究成果

入手がしやすく、手元での出力および加工が容易であることから、熱溶解式の三次元プリンターを主体として使用することとした。基本的には、熱で溶解したプラスチックを積層して造形を行う方式であり、とくに血管内治療の術前シミュレーションとしては、血管内腔の再現が重要であるものの難しく、素材やサポートの工夫により実現可能とした。

術前シミュレーションとして、脾動脈瘤の中腔モデルの作成を行い、MRI (Magnetic Resonance Imaging) にて撮像し、形状の作成ごとのばらつき、精度を評価した。脾動脈瘤および流入血管、流出血管は、いずれも高いオーバーラップ率を認め、脾動脈瘤の断面積はほぼ同一であり、標準偏差は 5 mm^2 未満と小さく、再現性が高いことが示された。また、門脈狭窄の中腔モデルについても同様に作成および評価を行い、モデル間での高いオーバーラップ率を認めた。門脈の断面積の標準偏差は 4 mm^2 未満であり、狭窄率の標準偏差は 0.5% と小さく、高い再現性が示された。

過去に放射線科において血管内塞栓術を行った、さまざまな、真性の腹部内臓動脈瘤 (脾動脈瘤、肝動脈瘤、左胃動脈瘤、右胃大網動脈瘤、胃十二指腸動脈瘤、後脛十二指腸動脈瘤) に対して、術前シミュレーションの中腔モデルを作成し、CT (Computed Tomography) にて撮像を行うことにより正確度を評価した。動脈瘤の体積としては、高さ、長さ、幅から簡易的に推計し、元の CT と作成したモデルにおいて、動脈瘤の体積の差は、 $0.05\% \sim 15.4\%$ (平均 5.2%) であった。また、動脈瘤と流入血管および流出血管を合わせた形状の比較として Dice coefficient index を算出し、 $0.84 \sim 0.96$ (平均 0.91) と高い一致率 (正確度) が示された。

実際の血管内治療前におけるシミュレーションとしては、中腔の三次元プリンティングモデルを使用し、実際の治療との対比および検討を行った。放射線科において血管内塞栓術を行った、連続する真性の腹部内臓動脈瘤 (脾動脈瘤、前脛十二指腸動脈瘤) の症例において、術前シミュレーションを実施し、カテーテル、ワイヤー操作等、および、治療方針についてのフィードバックを得た。シミュレーションにて決定した方針に従い、合併症なく、実際の治療が実施可能であった。また、随時、術前および術中ガイド用のモデルを作成し、画像下治療および手技のガイドとして、有用性を確認した。



仮想現実システムとしては、段階的にシステムの構築を進め、通常のモニターにおいて、固定

および移動したカメラより撮像した画像に CT などにもとづく三次元画像を投影し、随時、CT などの画像から構築した三次元プリンティングモデルでのテストを繰り返しながら、実際の生検などに使用可能なシステムの構築を行った。通常、画像ガイドに使用する画像は二次元であり、三次元プリンティングによるシミュレーションモデルや仮想現実システムにより、三次元の情報を最大限に活用することにより、手技の有効性（治療成績）および安全性の向上につながることを期待される。今後、引き続いて、システムの改良を進め、より精度の高いシステムの樹立へと発展させたいと考えている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shibata E, Takao H, Amemiya S, Ohtomo K, Abe O	4. 巻 28
2. 論文標題 Embolization of visceral arterial aneurysms: Simulation with 3D-printed models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Vascular	6. 最初と最後の頁 259-266
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/1708538119900834	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Takao H, Abe O	4. 巻 49
2. 論文標題 Triple-balloon-assisted n-butyl-2-cyanoacrylate embolization of a cirroid renal arteriovenous malformation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Vasa	6. 最初と最後の頁 147-150
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1024/0301-1526/a000817	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Takao H, Shibata E, Amemiya S, Abe O	4. 巻 30
2. 論文標題 Double-balloon-assisted n-butyl-2-cyanoacrylate embolization of non-tumorous intrahepatic arterioportal shunts	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J Vasc Interv Radiol	6. 最初と最後の頁 1210-1214.e2
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jvir.2019.04.011	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Shibata E, Takao H, Amemiya S, Ohtomo K	4. 巻 209
2. 論文標題 3D-printed visceral aneurysm models based on CT data for simulations of endovascular embolization: Evaluation of size and shape accuracy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 AJR Am J Roentgenol	6. 最初と最後の頁 243-247
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2214/AJR.16.17694	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takao H, Amemiya S, Shibata E, Ohtomo K	4. 巻 24
2. 論文標題 3D printing of preoperative simulation models of a splenic artery aneurysm: Precision and accuracy	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Acad Radiol	6. 最初と最後の頁 650-653
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.acra.2016.12.015	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takao H, Amemiya S, Shibata E, Ohtomo K	4. 巻 27
2. 論文標題 Three-dimensional printing of hollow portal vein stenosis models: A feasibility study	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 J Vasc Interv Radiol	6. 最初と最後の頁 1755-1758
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jvir.2016.05.022	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Shibata E, Takao H, Amemiya S, Ohtomo K	4. 巻 40
2. 論文標題 Perioperative hemodynamic monitoring of common hepatic artery for endovascular embolization of a pancreaticoduodenal arcade aneurysm with celiac stenosis	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Cardiovasc Intervent Radiol	6. 最初と最後の頁 465-469
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00270-016-1517-9	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takao H, Shibata E, Ohtomo K	4. 巻 39
2. 論文標題 Double-balloon-assisted n-butyl-2-cyanoacrylate embolization of intrahepatic arteriportal shunt prior to chemoembolization of hepatocellular carcinoma	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Cardiovasc Intervent Radiol	6. 最初と最後の頁 1479-1483
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00270-016-1377-3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計17件(うち招待講演 1件/うち国際学会 10件)

1. 発表者名 Takao H, Shibata E, Amemiya S, Ohtomo K, Abe O
2. 発表標題 Applications of 3D printing to radiology and interventional radiology
3. 学会等名 ECR (European Congress of Radiology) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高尾英正、柴田英介、雨宮史織、阿部修
2. 発表標題 肝動脈門脈シャントに対するダブルバルーン補助下のNBCA塞栓
3. 学会等名 日本医学放射線学会秋季臨床大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高尾英正
2. 発表標題 3Dプリンタの医療応用: セグメンテーションから3Dモデル出力まで
3. 学会等名 日本医学放射線学会秋季臨床大会(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takao H, Abe O
2. 発表標題 Embolic agents: Relationships between agent type and target vessel size and nature
3. 学会等名 RSNA (Radiological Society of North America) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Takao H, Shibata E, Amemiya S, Ohtomo K, Abe O
2 . 発表標題 3D printing in radiology and interventional radiology
3 . 学会等名 RSNA (Radiological Society of North America) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Shibata E, Takao H, Amemiya S, Abe O, Ohtomo K
2 . 発表標題 Simulation of endovascular embolization for visceral artery aneurysms with 3D-printed hollow models
3 . 学会等名 CIRSE (Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Shibata E, Takao H, Amemiya S, Abe O, Ohtomo K
2 . 発表標題 NBCA embolization of a true splenic artery aneurysm: simulation with a 3D-printed model and treatment
3 . 学会等名 CIRSE (Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Shibata E, Takao H, Shirota G, Kawai G, Abe O
2 . 発表標題 Superselective embolization of bleeding placental polyps
3 . 学会等名 CIRSE (Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe) (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 柴田英介、高尾英正、大倉直樹、佐藤次郎、大友邦、阿部修
2. 発表標題 Preoperative endovascular embolization hepatectomy with recent topics
3. 学会等名 東京アンギオ・IVR会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 柴田英介、高尾英正、他
2. 発表標題 胎盤ポリープ出血に対して超選択的塞栓術を施行した1例
3. 学会等名 日本IVR学会総会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Shibata E, Takao H, Amemiya S, Ohtomo K
2. 発表標題 The creation and utilization of 3D printed models for endovascular embolization of visceral aneurysms
3. 学会等名 RSNA (Radiological Society of North America) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shibata E, Takao H, Amemiya S, Ohtomo K
2. 発表標題 Simulation of embolization of visceral aneurysms with 3D-printed hollow models
3. 学会等名 CIRSE (Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shibata E, Okura N, Takao H, Sato J, Ohtomo K
2. 発表標題 Stent placement for portal vein stenosis
3. 学会等名 CIRSE (Cardiovascular and Interventional Radiological Society of Europe) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Shibata E, Takao H, Okura N, Sato J, Ohtomo K
2. 発表標題 Preoperative endovascular embolization for hepatectomy and pancreatectomy; In relation to recent surgical treatment in cancer
3. 学会等名 German-Japanese Radiological Affiliation (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 柴田英介、高尾英正、雨宮史織、神谷昂平、大倉直樹、赤松展彦、西原陽介、佐藤次郎、大友邦
2. 発表標題 3Dプリンターにて作成した血管内腔モデルにて術前シミュレーションを行った脾動脈瘤塞栓の一例
3. 学会等名 日本IVR学会総会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 柴田英介、高尾英正、雨宮史織、大友邦
2. 発表標題 CTデータから作成した腹部内蔵動脈瘤の3Dプリンターモデルの正確性の検討
3. 学会等名 日本医学放射線学会総会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 高尾英正、雨宮史織、柴田英介、大友邦
2. 発表標題 3Dプリンターによる脾動脈瘤の術前シミュレーションモデルの精度と確度
3. 学会等名 日本医学放射線学会総会
4. 発表年 2016年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	高尾 英正 (Takao Hidemasa) (10444093)	東京大学・医学部附属病院・准教授 (12601)	

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究協力者	柴田 英介 (Shibata Eisuke)		
研究協力者	雨宮 史織 (Amemiya Shiori)		

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------