

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 26 日現在

機関番号：32661

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2016

課題番号：26560130

研究課題名(和文) 接触可能な動的生体内モデルシミュレーターの開発

研究課題名(英文) Creation of biological model simulator by 3D printer

研究代表者

土井 範子 (DOI, Noriko)

東邦大学・医学部・助教

研究者番号：00246729

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：生体の複雑な構造や動きは、書籍などの2次元的な教材だけでは学びにくい。そのため理解の補助として動画や造形物などを利用した教育がなされている。本研究では、CT画像のDICOM-DATAから3Dプリンター用のモデルシミュレーターを作成することで、生体の構造的理解を深めることを目的としてモデルの作成を行った。試作品としてPLA素材からの心臓モデルの作成を行った。これらの工程を初学者に体験してもらうことで、生体構造を学ぶ上で、モデルが教材になるだけでなく、モデル作成の工程も構造を学ぶモチベーションの向上、維持に役立つことが確認された。

研究成果の概要(英文)：Complex structures and motions of living organisms are difficult to learn by using only two-dimensional materials such as books. For this reason, education using moving images and modeled objects is being done as an aid to understanding. In this study, we created a model aiming at deepening the structural understanding of living organisms by creating a model simulator for 3D printers from DICOM - DATA of CT images. We made a heart model from PLA material as a prototype. By experiencing these processes by the first scholars, it was confirmed that not only models become learning materials but also the model creation process is useful for improving and maintaining the motivation to learn the structure in learning the biological structure .

研究分野：医学教育

キーワード：シミュレータ 教育 造形作成 3Dプリンター 心臓モデル

1. 研究開始当初の背景

生体の構造を学ぶには、書籍や映像の2次元的な教材、硬質模型などの3次元モデルを利用した学習方法、人体解剖実習のアクティブラーニングでの学びなど様々な方法で行われている。2次元の教材の補助として用いられる3次元モデルは立体的な構造をイメージするためには妥当な教材であるが、硬質な素材で作成されているものが多く、学習者が見たい断面で切断することは難しい。また、硬質なモデルは正常モデルとして作成されているものが多く、疾患に対応した大量のモデルを用意するには、費用負担が大きい。解剖実習は、人体の細部構造や性状、臓器の柔軟性や、詳細な断面の構造などを学ぶには一番有益と思われるが、施設制限などもあり簡単に反復することは難しい。また、実習で学んだ献体の構造は深く印象に残るが、他疾患を伴う構造をイメージすることには限界がある。

近年3Dプリンターが身近な機器として発展し、手軽な購入が可能となった。素材として、PLA、ABSは熱溶融重積層タイプがあり、硬質であるが安価に作成できる利点がある。他に3Dプリンターの素材としては、石膏、ゴムライク(かなり硬い)、光硬化樹脂といった素材で作成できるプリンターも存在するが、高価である。気軽に安価で作成できるということは、多種の学習ツールの試作を可能にするという点で好都合である。この利点を利用し、人のCTやMRIなど各臓器のDICOM-DATAを利用して臓器モデルを作成し、疾患を伴う臓器構造の学びツール作りや、外科処置のための練習ツール作成が可能になるのではないかと考えた。

難易度の高い手術の前に、DICOM-DATAからモデルを構築することで、より臓器をイメージできる。さらには、一歩進めて、硬質の樹脂を柔軟性の樹脂に変え、動きを加えることができれば、初学者のイメージ構築には有効なのではないかと考えた。

筋肉様の動きを作るにはモーターを利用する方法があるが、モーターには限界があり、筋肉のしなやかな動きを再現する方法について検索したところ、バイオメタルという金属の存在に行き着いた。電流によって5から10%の収縮を期待できる金属である。このバイオメタルを柔軟性の高い樹脂に埋め込むことで動くシミュレータの作成が可能なのではないかと考えた。

2. 研究の目的

DICOM画像DATAから3Dプリンターの作成技術を利用した臓器モデルの作成を通じて、生体構造の学習ツールの作成を試み、生体構造の学習に興味を促すこと、外科的学習ツールを作成することを目的とした。

3. 研究の方法

(1) モデルの作成

3Dプリンターでのモデルの作成にはDICOM-DATAからのSTLファイルへのDATAの変換、STLでの臓器の編集、加工処理、プリンターを駆動するためのGファイル化、プリントの材質の検討やプリント条件の検索の工程が必要である。

CT-DATAからSTLファイルの構築

STLファイルの構築には、画像処理ソフトOsiriXを用い、心臓のサンプルDICOM-CT-DATAを利用した。OsiriXの3Dファイルレンダリング機能を用いSTL化を試みた。ピクセルによる作成されるSTL画像が異なるため、ピクセルによる画像の違いを検索した。複数作成したSTLファイルの編集には加工ソフトMeshLabを、ファイルの合成と修正にはMeshmixerを利用した。

G-ファイル化から3Dプリンター造形

今回使用した3Dプリンターは、ATOM2 (genkei)、Dreamer (Flashforge)の2機種。

ATOM2に対応したKisslicerでGファイル化し、pronterfaceのプリント専用ソフトを利用しプリントを行った。Dreamerでは、対応したFlashprintを利用しG-ファイル化、プリントを行った。PLA、ABS、熱水可溶性樹脂を用いて造形を試みた。

(2) 動くモデル作成のための試み

arduino unoを用い、バイオメタルBMX150 (トキコーポレーション)を周期的な通電によって心筋のように収縮をさせることで心臓の動きを再現することを試みた。スイッチングにはトランジスタを利用した。

(3) 2液性シリコンと3Dプリンターの素材

柔軟性の高いシリコンに2液性硬化タイプシリコン樹脂があるが、3Dプリンターのノズルから滴下する構造に改良し、高価なゴムライクのプリンターを手軽なものにできないか検討した。ATOM2を改良しシリンジに充填した2液性シリコンを滴下し柔軟性の高い樹脂による3D構築ができないか検討した。

(4) 教育への利用

モデル作成の工程を学ぶことで、生体構造や画像解析技術の習得に興味を持つことができるか体験学習を行った。3Dプリンターの造形作成に興味がある解剖学を未学習の医学生(1年)を募り、集まった3人を対象にモデル作成の工程を体験させ、アンケートによる調査を行った。

体験学習は、2時間。内容は、心臓構造の復習、断層CTと画像処理ソフトについて、3Dプリンター造形に必要なファイル変換と造形後の処理法、3Dプリンターが医療に与える影響の説明を行った。その後、パソコン上

で実際の DICOM-DATA を用い、画像処理からの STL 化、STL 化された構造で不要な部分の削除ファイル編集と 3D プリンターでの造形後に行うラフトの後処理を体験する形で学習し、アンケートを行った。今回の短時間では 3D プリンターでプリントするところまでファイルを完成させることはできないので、あらかじめ作成されたファイルを用いて 3D プリンターが動くところを見学する形でプリントをイメージさせた。

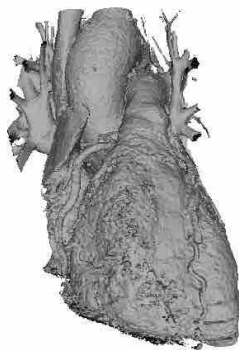
4. 研究成果

(1) モデルの作成

OsiriX での心臓のピクセル処置と STL

外部構造 (周囲を Meshlab で削除後)

10 pixel

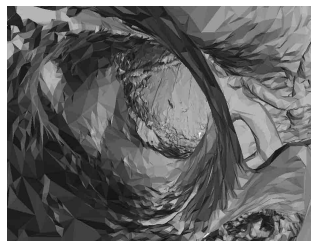


250 pixel

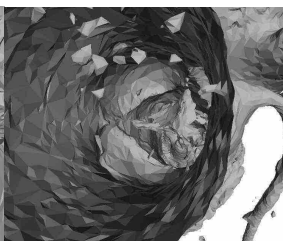


内部構造 (大動脈弁付近)

10 pixel



250 pixel



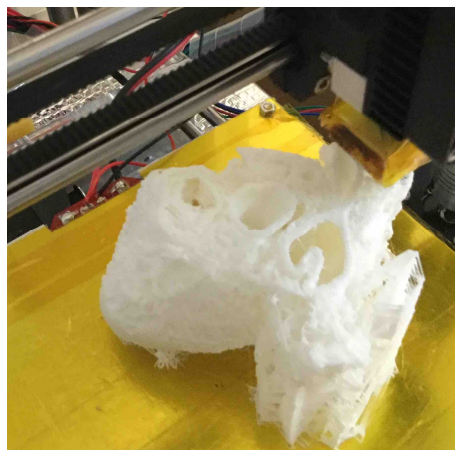
今回利用した DICOM-DATA では、-100~450 pixel の領域で心臓の形状が領域を変化させながら抽出された。-150 pixel では心臓の全体構造は抽出されず、肺の外壁が抽出された。0 pixel では外壁構造が、抽出されたが、心室中隔は抽出されなかった。100 pixel では心室中隔が抽出されたが、大動脈弁は抽出されなかった。250 pixel では内部構造がより細部に抽出され大動脈弁が一部確認されたが、外膜構造は見られなかった。500 pixel では骨のみの抽出となった。ピクセル数を上げることでより内部の構造が抽出されることが確認できた。

3D プリンターでのモデルを作成するには、

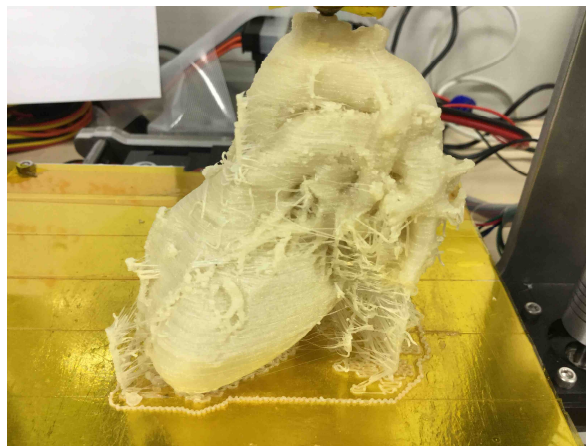
0 pixel、50 pixel、250 pixel を STL ファイルとして抽出した後、meshlab で不要な部分の削除編集を行い、Meshmixer にて 3 つのファイルを合成し G-ファイルへの適合性を検証しポリゴンファイルの補正を行い、1 つの心臓としてのモデルタイプ STL ファイルを作成した。

G-ファイル化を行ったのち PLA、ABS、熱水可溶性樹脂でプリントを行った。

PLA: プリント中 (内腔構造を抽出し重層中)



熱水可溶性樹脂: ラフトの処理前のモデル



プリンター対応 G ファイル化ソフトで印刷した際のサポートの違い



左: kisslicer pronterface ATOM2
右: Flashprint Dreamer

KISSlicer は、ラダーのサポートに対し、Flashprint は、枝状のサポートが計算される

心疾患モデル作成（右室肥大）



左：内部構造乳頭筋が確認できる

正常なモデルに加え、疾患のモデルの作成を行った。

(2) バイオメタルによる人工筋肉の試作

周期的に動く筋肉の試作を目的としてバイオメタルの条件検索を行った。バイオメタルは、柔軟性の高い環状シリコン Gel 00 (Mouldlife) に埋め込んだが、包埋されたシリコン樹脂の中でバイオメタルが収縮力を得るためには高電圧を必要とし、シリコンが変質し利用不可となった。空洞のシリコン管にバイオメタルを通し両側をシリコンで固定する形状に変更した。加熱することで収縮駆動するバイオメタルの特性は、周期的な電流によって樹脂の中に熱がこもり放熱が妨げられ、徐々に収縮力が下がった。1本の筋肉モデルとしては周期的な運動を再現することができるが、心筋をイメージできるような塊としての強い収縮力が得られず、今回の目的として利用できなかった。



シリコン管の中のバイオメタル

(3) 2液性シリコンの素材としての試用

Mouldlife の2液性シリコンを platsil gel 10 を使い、改良した3Dプリンターのノズルのから滴下させ、柔軟性の高い樹脂素材を可能とする造形プリンターの構築を試みたが、利用した樹脂の硬化時間が30分と遅いこともあり、滴下後に、プリンターの滴下面の拡散するスピードが硬化時間より早く、立体的な重層が困難であった。今回の試作改良では、3Dプリンターへの柔軟性シリコン素材としての転用は未解決となった。



3Dプリンターの改良の試み

(4) 教育への利用

3Dプリンター造形に興味のある学生が参加したが、内容的には解剖学的な学びや臓器の作成をメインに行った。1年生ということもあり、解剖学を学んでいないこと、CT画像をイメージはできても今回学習対象としたのは初めてであったこと、CT画像から立体画像へ解析ソフト上で構築が可能なこと、さらにプリンター用のファイル変換など、初めてのことはばかりで、今回の体験学習は全員が満足と回答し、解剖学や3Dプリンターでの臓器作成に対しての興味を持ったと回答した。

(5) まとめ

今回の開始当初は、動きを作ることを目標にバイオメタルの人工筋肉への試作や電流と収縮力の関係について検討が繰り返されたが、心筋をイメージできる強い収縮力の動きを作るための効率的な条件が見つけれなかった。

DICOM-DATA から硬質樹脂で3Dプリンターによる臓器の構築は、疾患の異常構造モデルの製作を実験室レベルで可能にした。

モデルの作成は、生体構造の造形物をより身近に学習ツールに利用出来る利点があることは当然として、モデル作成の工程を体験することでも、学びのツールとして役に立つことが示唆された。

柔軟性の高い樹脂を素材として利用出来る3Dプリンターが身近なものになれば、手術用シミュレータが手軽に作れることにもつながる。今後の課題としてこれからも継続していきたい。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

〔雑誌論文〕(計0件)

〔学会発表〕(計0件)

〔図書〕(計0件)

〔産業財産権〕
出願状況(計0件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況（計0件）

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

土井範子 (DOI, Noriko)
東邦大学・医学部・助教
研究者番号：00246729

(2) 研究分担者

()

研究者番号：

(3) 連携研究者

()

研究者番号：