

令和 4 年 6 月 21 日現在

機関番号：22701

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K16704

研究課題名(和文) ヴァーチャル・リアリティ(VR)を用いた呼吸器・循環器動態画像の解析

研究課題名(英文) Analyses for dynamic movements of the cardiopulmonary system using virtual reality

研究代表者

山城 恒雄 (YAMASHIRO, Tsuneo)

横浜市立大学・医学部・准教授

研究者番号：30772545

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 1,900,000円

研究成果の概要(和文)：医療画像用のヴァーチャル・リアリティ(VR)は、本邦においても手術支援に用いる試みが行われるなど、既存のCTやMRIなどを処理・再構築した新たな医療画像として注目を集めている。本研究では、通常の医療画像を用いたVRではなく、4次元(4D)の動態撮影が行われた医療画像をVR化することで、主に呼吸器や循環器等の各種病的運動(奇異性運動)を新たに、かつ深く認識・可視化できるか、探索した。慢性閉塞性肺疾患の呼吸運動(特に呼吸に伴う横隔膜や心臓の奇異性運動)、肺癌に伴う主気管支完全閉塞、心臓弁膜症術後の大動脈弁の運動、などを対象に4次元CTをVR変換したものを観察し興味深い知見が得られた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ヴァーチャル・リアリティ(VR)は、人工環境・サイバースペースをあたかも現実のものとして人に知覚させる技術である。「人類の認知を拡張する」映像技術と言われ、いち早くゲーム業界で実用化され、医学教育や医療への応用が進んでいる。今回は医学・医療用VRソフトウェアを用いて、4次元で撮影されたCTやMRI(心臓、肺)をVRに変換して種々の疾患の観察を行った。結果として、肺や心臓の様々な疾患で「健常者には見られない異常な運動」が生じていることをVRで容易に認識できることが確認され、患者説明や医療者の病態の理解に有用であろうと思われた。

研究成果の概要(英文)：Virtual reality (VR) in the field of medicine attracts attention as a new medical imaging, which is converted from computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging (MRI) and also used for preoperative surgical simulation in Japan. In this study, various pathological movements observed in respiratory and circulatory organs were mainly researched whether or not VR can provide deep recognition for the patho-physiological movements in human body. As a results, various paradoxical/abnormal movements were found in patients with chronic obstructive pulmonary disease, lung cancer (occluded main bronchus by cancer), and aortic valve stenosis (after Transcatheter Aortic Valve Implantation: TAVI).

研究分野：放射線科学

キーワード：放射線科学 ヴァーチャルリアリティ 病態生理学

1. 研究開始当初の背景

VRは、コンピュータによって作り出された世界である人工環境・サイバースペースをあたかも現実のものとしてヒトに知覚させる技術である。「人類の認知を拡張する」映像技術と言われ、いち早くゲーム業界で実用化され、複数の**VR**ソフトウェアが爆発的な人気を博するなど、次世代の映像技術として実用化が進みつつある。医学・医療の分野においても**VR**を取り入れた技術が開発され、例えば医学教育においては人体解剖の実習前に**VR**を用いて精緻な人体模型で筋肉、骨格、内臓の位置関係をより立体的に予習することができ、また、外科手術の術前シミュレーションにおいてより正確に臓器・病変の位置関係を術者が事前に認識できるようになるなど、利用が広がりつつある (**Iannessi A, et al. Insights Imaging 2018**)。

医療画像用**VR**においては、一般的には**CT**や**MRI**の静止画を用いて3次元画像として**VR**変換・観察することが多い(図1)。静止画の医療画像から**VR**データを作成し、自由自在に拡大・縮小・回転させ、その中に観察者自身が入り込んで観察することは、もちろん病変や解剖学的位置関係等において新たな認知を引き起こすものではあるが、固形癌や脳動脈瘤などのような「形態の病変」とは異なる「機能の病変」～すなわち各種心疾患や呼吸障害など～においては「静止画のみ」を観察するだけでは病態生理学としての「真の原因や病態の本質」に迫ることができず、4次元の動態画像としての観察が不可欠である。

CTや**MRI**の機器の進歩が進むにつれ、循環器領域や呼吸器領域では「静止画」ではなく「動態画像」での撮影が可能になり、それらによって従来は知られていなかった病的な運動が各種の循環器・呼吸器疾患で存在していることが次々と明らかになっている。これらは「マクロ病態生理学」に未だ未解明の現象が多数あること、放射線医学・画像診断学がそれらの未解明の病的現象を解き明かす鍵になっていることを示すものであるが、ではこれらの動態の医療画像をさらに**VR**で観察した場合、どのような病的現象が「リアルな異常運動」として新たに認知できるかはわかっていない。すなわち本研究の「問い」は、動態撮影の医療画像を**VR**で観察すれば、種々の呼吸器・循環器疾患における病的運動を新たに発見・またはより深く認識できるのではないかと、いうものである。

2. 研究の目的

本研究の目的は、4次元(4D)の動態撮影が行われた医療画像を**VR**化することで、主に呼吸器や循環器等の各種病的運動(奇異性運動)をより明瞭に認識・可視化できるか、また新たな病的運動を発見できるか、探索することを目的とした。医療画像用**VR**を用いた同種の試みは未だ学術雑誌等で報告されておらず、学術的な独自性や創造性は極めて高い。

3. 研究の方法

今回使用したコロラド州立大学開発の**VR**システム(**Banana Vision**)では、動態画像も時間軸を失うことなく再生・観察できることがすでに初期の使用経験で明らかになっている。上記**VR**システムを、2022年3月末までのレンタル契約を結んで使用可能な状態にした。

本研究応募時点で在職していた琉球大学病院で、臨床目的に撮影された心臓の**4DCT**、および長年琉球大学などと多施設共同研究を行ってきていた大原総合病院(福島市)で同じく臨床目的に撮影された胸部の**4DCT**(呼吸ダイナミック**CT**)が、それぞれ数例完全匿名化した状態で本課題のために提供された。提供された**4DCT**は上記**VR**システム上で**VR**変換し、**VR**で観察することで心臓弁膜、肺、横隔膜などの異常運動が可視化・認識可能か、1例につき数時間・数日かけて観察を行った。

4. 研究成果

(1) **VR**による異常運動の可視化・「経験知」としての認識

4DCTを**VR**で観察することにより、様々な異常運動を認識できた。下にいくつかの例を示す(特に明瞭に「認知」できたもののみを例示する)。

・心臓**CT**で**Transcatheter Aortic Valve Implantation (TAVI)**術後の弁膜症患者を1例観察したところ、**TAVI**デバイスが上行大動脈起始部には完全に密着しておらず(大動脈弁の硬化が極めて強く、**TAVI**デバイスでも完全に大動脈弁の狭窄を解除できなかったためと推察される)心臓の拍動に応じて**TAVI**デバイスが多少「揺れる」ような運動をすることを確認。

・重度の慢性閉塞性肺疾患(**Chronic Obstructive Pulmonary Disease: COPD**)の患者を1例観察したところ、呼気時に肺が閉塞性障害のため十分収縮できず、そのため胸腔内圧が急上昇するためと思われるが、呼気時に肺が心臓(右心房付近)を圧迫し、右心房付近を陥凹させ心臓を変形させる現象が生じていることを認識。

・同様に、**COPD**患者において、肺底部(横隔膜)の呼吸運動に時相の差異・不一致が生じていることを認識。

・肺癌により左主気管支の完全閉塞が生じている患者で、左肺の容積は呼吸により全く変化しないものの、胸郭や横隔膜の呼吸運動のため、「口を縛った風船」のように左肺が吸気・呼気で形

態変化を起こすことを確認。

興味深いことは、これらのVR化した4DCTで認識できる「異常運動・奇異性運動」が、従来のモニター内で時間軸のある3D画像として（一応は4DCT画像である）提示されるものに比して、やはり「深く、経験知として認識できる」傾向があったことである。これは、VR自体の「没入性」を投影しているものと思われる。専用のヘッドセットを装着して「目の前」に現れるVR化された4DCTの画像は、単にモニターの中で動画として動いている画像に比して明らかに観察者に肉薄し、視野の中はVR画像以外は存在しないので、半ば強制的にVR化された4DCTと対峙することになる。加えて、VRの最大の特徴である「任意の方向、任意の断面で対象物を観察できる」ことにより、「少し見にくいな」と思えば自分の身体の位置またはVR画像自体を少しずつ・回転させれば最善の視点で対象臓器の運動を観察することができる。また、対象臓器の中に入って観察したい、と思えば、拡大したVR画像の中に「ヘッドセットごと頭を突っ込む」ことで臓器の内面から運動を観察することができる。これらのVRならではの効果により、上記のような異常運動の存在を、形式知として「知っている」のではなく、実像として「体験できた」ことにより、深い理解・知覚を促すものと思われた。

今回はあくまで「VRは臓器の異常運動の認識において有用かどうか」というパイロット的な課題であったので、観察者の認知・認識がより深くなるかどうかという疑問に対しての多人数での研究・検討は行っていないが、今後は病態生理学的としての異常運動を、VRを用いれば医師や医学生等が「経験知」として効率的に学習できるか、研究することも可能なものと思われる。

以下、肺癌による主気管支閉塞が生じた胸部4DCT（呼吸ダイナミックCT）をVR化した画像とその解析について示す。

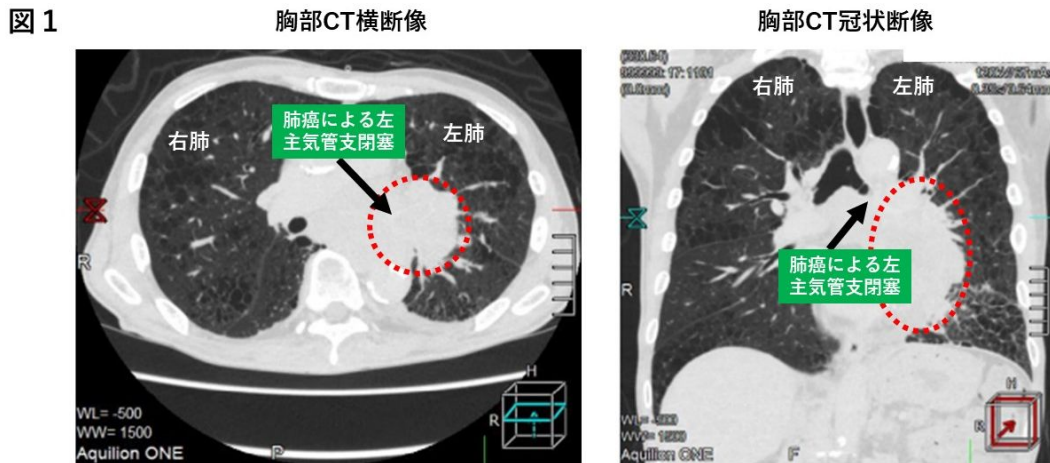
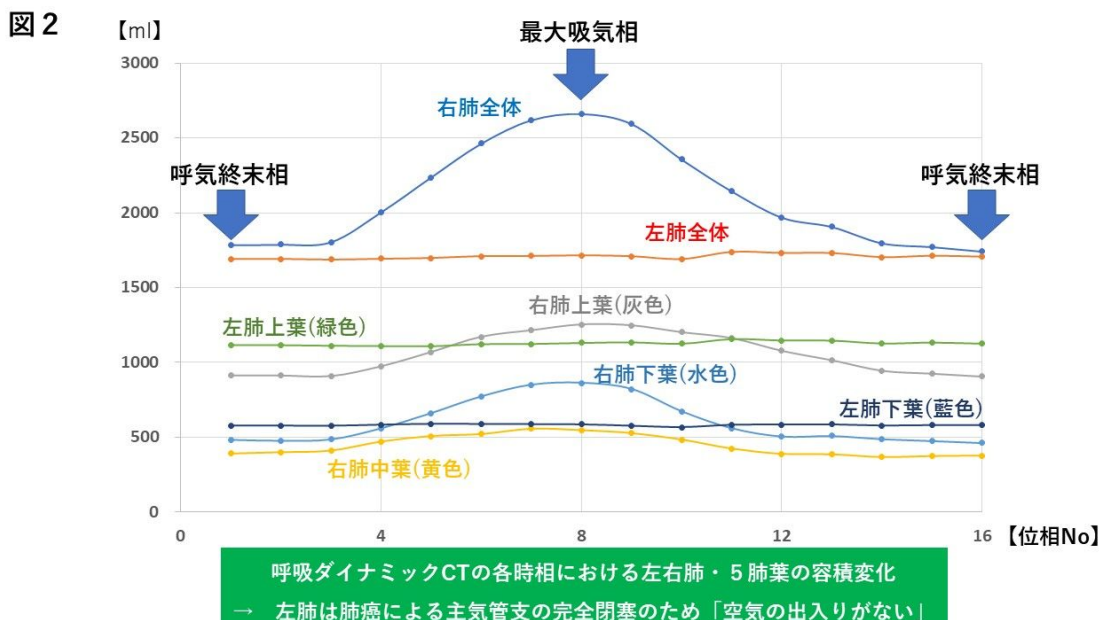


図1は通常の胸部CT像である。左肺門部に大きな肺癌が存在し、左主気管支の完全閉塞が生じている。この状態では、左肺は「呼吸運動による空気の入りができない状態」であろうと推察される。



これを呼吸ダイナミックで定量的に肺容積解析を行った結果が上記の図2である。最大呼気相（図中では呼気終末相と表記。X軸の最初と最後に相当）から最大吸気相（第8位相）にかけ

て、右肺（および右上中下の3肺葉）では、吸気による肺容積の増加が起きている。逆に、最大呼気相に相当する第16位相にかけては、右肺は呼出を行っているため肺容積が減少する。一方、左肺は全体・2肺葉（上下葉）共に、主気管支の完全閉塞のためにこのような容積変化が生じていない。「左肺に空気はあるが、出入りできない状況」ということになり、本例では右肺のみで呼吸機能を維持していることになる。

一見すると、「全く呼吸運動を停止しているように見える」左肺であるが、実際の呼吸運動はどのようなものであったのであろうか。VRで観察した結果を下に示す。

図3 最大呼気時 最大吸気時

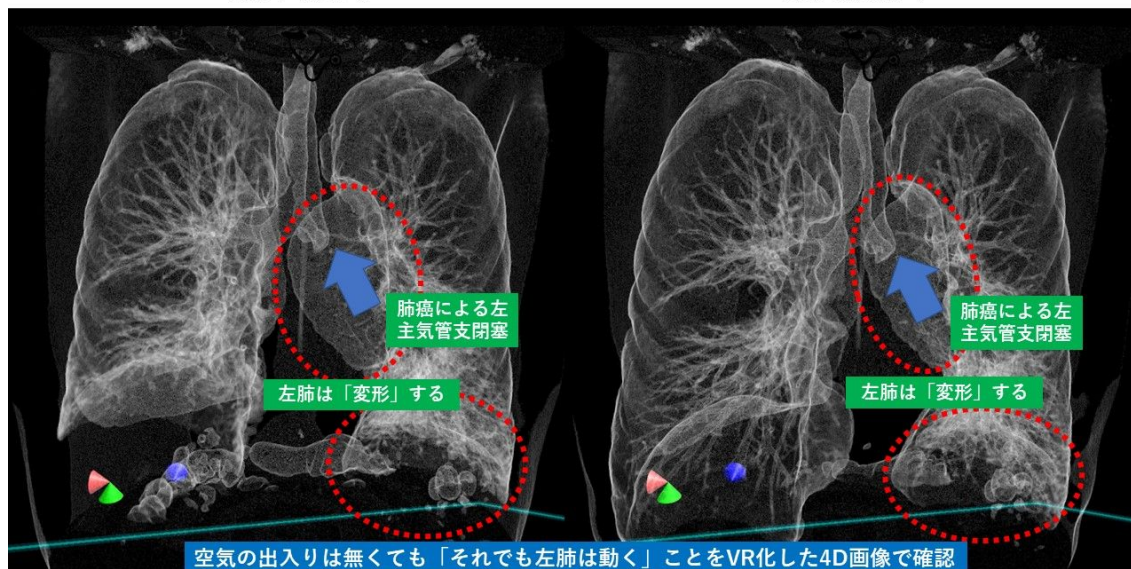


図3は本例の呼吸ダイナミックCTをVRで観察したものである（実際は動画であり、任意の方向から対象物を観察できる）。なお、画面の右が患者の左肺であり、画面の左が患者の右肺である。肺癌により途絶した左主気管支を矢印で示している。右肺では最大呼気時に横隔膜が挙上し、右肺容積の減少が生じている（最大吸気時に肺容積が最大値を示す）。一方、図2の定量的解析で示されている通り、左肺は肺癌による左主気管支完全閉塞があるため、呼吸による体積変化は生じていない。しかし、VRで観察すると、破線で示した付近を主体に左肺の「奇妙な変形」が生じていることが即座に判明した。すなわち、最大呼気時には左の横隔膜は（健側の右側と同様に）挙上しようとするため、左肺底部で肺容積の減少が生じそうになる（下方にある破線部）。しかし左肺は「口を縛った風船」の状態であるため、左肺底部の容積減少を通常の出動作で体外に排気することができない。そのため、驚くべきことに主気管支閉塞部の背側にある左肺の一部が「容積を増大」させて対応している（上方にある破線部）。そして、最大吸気時には左肺底部の容積は多少増大し（下方にある破線部）その代わりに「呼気時に容積変化を受け止めた」左肺の縦隔側の一部が虚脱・縮小してその容積変化に対応している（上方にある破線部）。これは、図2の定量的解析の際には「一切の呼吸運動を停止させている」かの如く見えた左肺に、未だ呼吸運動が残っていることを示し、かつ「口をしばった風船」になっている左肺が、一定の肺容積の中で肺内の空気を適宜移動させて対応していることを初めて実証的に確認できたことになる。「それでも左肺は動く」ことが判明した訳だが、VRの最大の功績はこのような認知を「一瞬にして」体験者に与えることに他ならない。本例のVR画像は複数の体験者が観察したが、全員が正しく「この症例では、左肺は主気管支閉塞のため容積変化を起こさないが、胸郭や横隔膜の呼吸運動に応じて左肺の中で空気の移動が生じている」ことを認識できた。肺癌がもたらす肺の奇異性運動を容易に認識できたことになる。

心臓や肺は「視覚で認知できる臓器の運動自体が機能に繋がる」臓器である。そのような特性を有する臓器において、通常とは異なる奇異性運動が生じること自体が機能の低下に直結している訳であり、「なぜその疾患で心臓や肺の機能低下が生じているのか」という疑問に対して視覚を用いて直感的に理解することは、患者への説明やその後の治療方針などにも影響を与えるものと思われる。本課題は初期的な探索として特に疾患を固定せずに「運動する臓器」に対してVRを使用した。今後はVRの使用が医療従事者や患者の「病態生理へのより深い理解」に寄与できるのか、引き続き探索を進めたいと考えている。なお、同じVRシステムを用いて静止画での手術前シミュレーションはすでに本邦で実用化されている(Ujue, et al. J Thorac Dis 2021)。

(2) VR体験会の実施

今回の研究課題で用いたVRシステムを使って、横浜市立大学の学内で2回のVR体験会を行

い、研究課題に関連した **VR** 化された 4 次元画像の観察、および静止画の **CT・MRI** 等の観察を様々な医療者、医学生が体験する機会を設けた。「通常の静止画の **CT** や **MRI** より直感的に理解しやすい」「心臓カテーテル検査の術前シミュレーションに使える」と、好意的な感想が多く寄せられた。

第 1 回：令和 3 年 8 月 6 日 場所：横浜市立大学放射線診断学医局 対象者：放射線診断学所属の医師（画像診断医）約 10 名

第 2 回：令和 4 年 1 月 27 日 場所：横浜市立大学みなとみらいサテライトキャンパス 対象者：画像診断に興味のある横浜市立大学医学部医学科の学生およびデータサイエンス学部の教員・学生 約 10 名

【参考文献】

Iannessi A, Marcy PY, Clatz O, Bertrand AS, Sugimoto M. A review of existing and potential computer user interfaces for modern radiology. Insights Imaging. 2018;9(4):599-609.

Ujiie H, Yamaguchi A, Gregor A, et al. Developing a virtual reality simulation system for preoperative planning of thoracoscopic thoracic surgery. J Thorac Dis. 2021;13(2):778-783.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計1件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 山城恒雄, 森谷浩史, 木本達也.
2. 発表標題 上下合体・呼吸位相同期を行った4次元呼吸ダイナミックCTを用いた肺葉別の呼吸運動解析の技術的進歩
3. 学会等名 第13回呼吸機能イメージング研究会
4. 発表年 2022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
研究協力者	森谷 浩史 (MORIYA Hiroshi)	大原総合病院・放射線科・部長	

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
---------	---------