

特集 ■ 医療から見た VR

医療訓練・術前計画における VR 技術利用の現状と課題



寺田尚史

三菱プレジジョン

TERADA TAKAFUMI

1. はじめに

1990 年代コンピュータ性能の向上や情報技術 (IT) の発展とともに急速に進展してきたバーチャル・リアリティ (VR) 技術も、21 世紀に入り様々な分野への本格的な応用が始まり、社会生活へ確実に浸透してきているように思われる。一方、医療技術も長足の進歩を遂げている。CT, MRI, PET, 超音波などの医療画像診断装置の高性能化 (3 次元化・高解像度化)、内視鏡などを用いて患者への負担を最低限に抑えようとする低侵襲手術の増加などである。これらの新技術は画像情報を用いる点、モニタ画面上に情報が提示される点など VR 技術とも相性がよく、その有力な応用分野の一つとなっている。本稿では、この中でも医療訓練・術前計画の分野における製品化を中心に VR 技術利用の現状と課題を考察する。

2. VR 技術を利用した医療関連機器とその分類

装置を誰が、どのような場面で用いるかによって図 1 に示すような分類を行った。

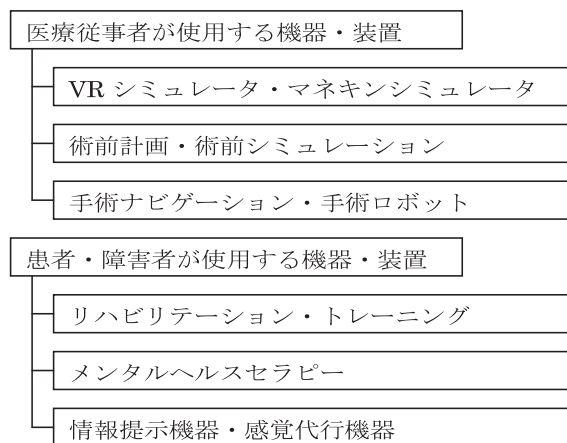


図 1 VR 技術を利用した医療・福祉機器の分類

・VR シミュレータ・マネキンシミュレータ

各種医療行為の手順や手技を訓練するための模擬訓練装置。人体形状 (全身または一部) を模擬したマネキン型とコンピュータ画像を中心とした VR 型に分類される。

・術前計画・術前シミュレーション装置

医療画像の 3 次元化、細部抽出、強調画像、透視画像等により術前計画・シミュレーションを行う。

・手術ナビゲーション

患者の診断データを用いた術前計画と、手術中での提示 (生体との重ね合わせ)、術中に測定されるデータの提示、臓器の変形などに合わせた手技の変更のリアルタイム処理、提示などを行うシステム。

・手術ロボット

マスター・スレーブ方式のロボットを用いた手術システム。特徴として、内視鏡下などの低侵襲手術を容易にする、難易度が高く非常に細かな手術が可能になる、手術ナビゲーションとの組合せが容易になる、などが挙げられる。「da Vinci®[1]」が国内でも導入されている。

・メンタルヘルスセラピー

精神的疾患を持つ患者 (例えば高所恐怖症など) に対する仮想世界を用いた脱感作療法や、末期がん患者などのホスピスとして肉体的苦痛や精神的不安の軽減などを目的とする。兵士の「PTSD」治療にも使われている。

・リハビリテーション、フィジカルトレーニング

これまでの単調で繰返しの多い訓練に替わり、VR 技術を用いて愉しく訓練を行い、患者のモチベーションを維持することを目的としている。

・情報提示機器、感覚代行機器

視覚や聴覚、四肢などに障害を持つ方のために、その感覚や機能を補助・強化したり、あるいは別の器官での代行を目指す装置。

3. 医療技術訓練への VR 技術応用

従来、医療技術の習得は、他の多くの技能訓練と同じように「現場に出て体で覚える」事が主流であった。医師にしても看護師にしても、学生時代から臨床実習・現場実習が行われ、卒業後も「助手」として医療現場に入り、熟練者の手助けをしながら「見て、聞いて、失敗を繰り返しながら体で覚える」事で技術・技能を習得してきた。しかしながら昨今の医療技術の急速な高度化・専門化・細分化は、これまでにない技術と知識の習得を医療従事者に要求しており、従来ながらの「現場で覚える」式の教育・訓練手法が、医療技術の向上に追いつかず、医療事故・医療ミスを引き起こす要因の一つに挙げられるようになった。またこれと相まって、医療倫理・患者権利意識の高まりにより、経験の浅い医師や看護師による医療行為を拒絶、あるいは敬遠する傾向が強くなっている。このような状況の中、様々な教育・訓練手法が実施されているが、注目を集めているのが「シミュレーション教育・訓練」である。「シミュレーション訓練」は、従来から行われている手法であり、ある想定された条件の下で実際に近い形での訓練を行う。身近なところでは「防災の日」などに行われる「避難訓練」が想起されるであろう。医療訓練では、例えば一人が患者役となり医師や看護師の間診等の訓練、体位変換や清拭、注射、おむつ交換などの訓練を相互に行う。しかしながら、実際の患者とは違って患者特有の症状(顔色、呼吸、脈拍、血圧、等)がない、遠慮や羞恥心から没入できない、危険をともしなう行為(注射等)は実施するのが難しい、などの限界も指摘されている。この点を補う物として患者シミュレータ(本稿では後に取り上げる VR シミュレータに対し、マネキンシミュレータと呼ぶ。)が導入され救急訓練を初めとして広く使われている。

マネキンシミュレータは図 2 に示すような全身型から、図 3 に示す呼吸音シミュレータのように目的に応じた身体各部分だけの物など様々なシミュレータが製品化



図 2 マネキンシミュレータ(全身型)「SimMan®」
Laerdal 社 HP より転載 [2]



図 3 呼吸音聴診シミュレータ「ラング」
(株)京都科学 HP より転載 [3]

されている。以前は、読者の多くも一度は使われたことがあるであろう心肺蘇生用ダミーのような単機能の装置であったが、最近では IT 技術やロボット技術、新素材を導入し、各種生体信号(脈拍、血圧、心音、等)の提示や顔の開閉などより生体に近い反応や触感が得られる装置が製品化され、医学部・看護学校を初め、一般の病院にも幅広く導入されている。国内では(株)高研や(株)京都科学などのメーカーがあり国際的にも大きな評価を得ている。また、X線やCTなどの医療画像撮影訓練用として、人体と同様の X線吸収率を持つ組織代用物を用いた「医療画像用ファントム」が製品化され、人体への被爆の危険性を考慮することなく訓練を行うことが出来る。この他ユニークな物として、重りや拘束具、特殊なゴーグルや耳栓を装着して、高齢者や障害者、妊婦などの体験を行うことが出来る「体験セット」なども販売され、看護や介護における問題点の把握、介助機器の設計などに利用されている。

一方、内視鏡の操作や内視鏡下手術の訓練・体験用として「VR シミュレータ」が開発され、複数の製品が販売されている。従来、現場 OJT 以外の手術訓練としては、図 4 に示すような縫合・結紮などの基本訓練を行う「ボックストレーナ」と、臓器の大きさや構造が人間に近いと言われるブタを用いて実際に手術を行う「ウェットラボ」が主流であったが、図 5 に示す VR シミュレータの登場により海外ではこれらを組合せた訓練カリキュラム



図 4 ボックストレーナによる訓練風景
日本内視鏡外科学会 HP より転載 [4]

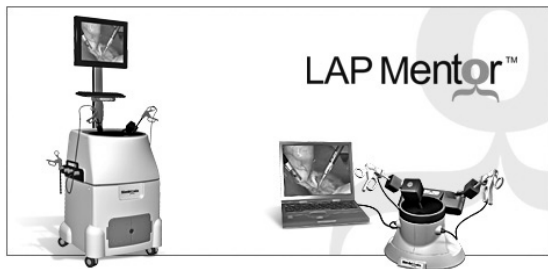


図5 VRシミュレータ「LapMentor™」
Symbionics社HPより転載 [5]

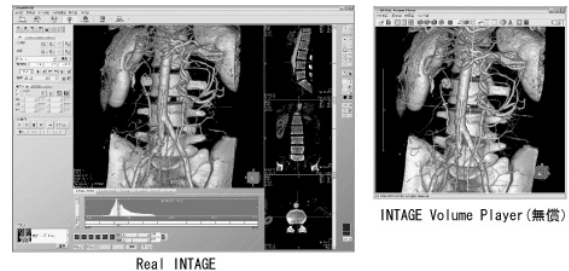


図6 3次元ビューワ「RealIntage」
(株)ケイ・ジー・ティー社HPより転載 [6]

が組まれるようになってきている。国内でも大学医学部を中心に 20～30 箇所の施設に計 50 台程度が導入されている。米国の内視鏡外科関連の学会「Society of American Gastrointestinal and Endoscopic Surgeons (SAGES)[8]」では、専門医資格の要件の一つとして、VRシミュレータによる評価を取り入れる動きが出ている。

VRシミュレータを用いる利点としては、

- ・基本手技と同時に特定の手術の擬似体験が可能
 - ・(動物も含め)生体を傷つけることなく訓練が可能
 - ・出血や臓器損傷などの術中合併症の対応など危険体験が繰り返し可能
- などの点が挙げられる。

また、VRシミュレータを使用する場面、状況、段階等によって、次に示すようなレベル分けが出来る。

- 1: Basic skills: 基本動作の習得
 - 2: Task skills: 基本手順の習得
 - 3: Procedural training: 操作手順に沿った模擬訓練
 - 4: New techniques: 新しい高度な技術の開発と習得
 - 5: Mission Rehearsal: 個別課題の計画、予行演習
- 現在のVRシミュレータの実力はレベル2から3に相当するものと思われる。今後の機能・性能の向上により、動物愛護の観点から削減・廃止が危惧されているウェットラボ訓練代替としての大きな可能性を秘めている。

4. 術前計画と術前シミュレーション

従来、術前計画としてはX線CTやMRIなどの医療画像診断装置により得られた2次元画像を用いることが主流であり、3次元画像の利用はごく一部であった。これまで経験のある医師ではこの2次元画像から3次元像を頭の中で構築することが可能であり、また3次元画像の生成には専門的な知識と時間および、高価な装置が必要であったためその必要性が認識されなかったためである。しかしながら、機能温存を目的とした部分切除術や進行癌に対する腹腔鏡手術などにより低侵襲で詳細な画

像が必要とされるようになる一方で、3次元画像生成時間の短縮や簡便化、様々な機能の追加により3次元画像を用いた術前計画の有用性が認識され始めている。3次元画像の生成・構築や表示を行うソフトウェアを本稿では「3次元ビューワ」と呼ぶこととする。3次元ビューワはどのような形で提供されるかにより、医療画像診断装置付属、医療画像ワークステーション、有料ビューワ、無料ビューワに分類することが出来る。また、3次元ビューワに搭載されている機能として、

- ・マルチスライス表示(2次元画像)
 - ・任意断面画像・透視画像
 - ・計測機能(体積、距離、角度等)
 - ・自動領域抽出/処理(骨抜き処理・血管抽出処理等)
 - ・マルチフェーズフュージョン
 - ・仮想化内視鏡
- などが挙げられる。

無料で入手できる3次元ビューワを表1に示す。興味のある読者は是非ともお試しいただきたい。

表1 無料で入手できる3次元ビューワ

名称	提供機関	URL
PLUTO	PLUTO プロジェクト	pluto.newves.org
INTAGE Realia	(株)ケイ・ジー・ティー	www.kgt.co.jp (図6)
zioTerm2009	ザイオソフト(株)	www.zio.co.jp
OsiriX	OsiriX Foundation	www.osirix-viewer.com

術前計画を更に一歩進め、術中の経過や術後の結果を予測するシステムを本稿では「術前シミュレーション」とする。術前シミュレーションは、大腿骨置換術(図7)や、顔面再建術などの整形外科領域、歯科・口腔外科領域などで広く使われるようになってきている。術前シミュレーションの製品として、主に画像上でのシミュレーションを行う装置と、ラピッドプロトタイピング等により「模型」を作る事が出来る装置に分類できる。術前シミュレーションを行うことによる利点として、



図7 術前シミュレーション「HipCAS」
(株)レキシー社 HP より転載 [7]

- ・手術時間の短縮
- ・術後不適合の減少
が挙げられる。

5. 事業化・実用化の課題と対策

ここまで、VR 技術の医療応用として、医療訓練と術前計画分野での利用動向を見てきた。本章では事業化・実用化の課題と対策に関して考察を行いたい。

まず、術前計画用途に関しては4章で述べたように、医療画像診断装置の普及とともに多くの製品が販売され、今後も市場は拡大していくものと考えられる。強いて今後の課題を挙げるとすると以下の点が挙げられる。

- ・自動診断機能の拡充および向上
- ・操作性向上 (医師でも簡単に操作可能なように)
- ・診療報酬への反映

一方、医療技術訓練用途としてはまだ数多くの課題が残されている。まず技術的側面を考えると、マネキンシミュレータ、手術シミュレータともに、「導入されているものの、あまり使われずに埃をかぶっている。」という話がよく聞かれる。その理由として、

- ・リアリティが低い
- ・シナリオ不足
- ・インストラクター不足

などが挙げられている。しかしながらこれらの要求を全て満足させることは、研究開発に要する期間や資金も含めてかなり厳しいものと思われる。したがって、これまで以上に「対象・用途を絞った製品開発」が重要になると考える。例えば学生・研修医用としては、自主学習可能なティーチング機能や熟練医師の「技」を伝えるアノテーション機能、危険体験シナリオなどリアリティよりもシナリオやカリキュラムが重視され、経験者用としては、3章のVRシミュレータの分類に掲げた4、5のレベルに相当する「新しい高度な技術の開発と習得」や「個

別課題の計画, 予行演習」を行うことが可能なリアリティの高さが求められている。

6. おわりに - 「安全・安心な医療」の一翼を担って -

ここまで医療訓練・術前計画の分野における製品化を中心に考察を行った。紙面の都合上触れなかったが製品化・事業化にはさらに、制度面・経済面での取組が重要になってくる。3章で述べたように米国「SAGES」での取り組みを始めとして、欧米では産学官一体となった医療訓練センターの設立が行われている。また欧州ではフランス IRCAD[9]を中心に欧州各国の研究グループが参加し、患者固有データを用いたシミュレーションシステム「PASSPORT」[10]の開発が、2011年度の完成を目指して進められている。一方国内でも文部科学省新学術領域「計算解剖学」[11]において、国内の関連研究者が集結し、画像診断や治療などの支援技術の開発が開始された。

欧米の状況に取り残されないためにも、また、「安全・安心な医療」の普及・向上のためにも関係者が一体となった協議と取組が必要であると感じる。今後も微力ながら貢献できれば幸いである。

参考文献 (URL)

- [1] <http://www.intuitivesurgical.com/index.aspx> (2010, 02, 04)
- [2] <http://www.laerdal.com/> (2010, 02, 04)
- [3] <http://www.kyotokagaku.com/jp/> (2010, 02, 04)
- [4] <http://www.asas.or.jp/jses/> (2010, 02, 04)
- [5] <http://www.simbionix.com/> (2010, 02, 04)
- [6] <http://www.kgt.co.jp/index.html> (2010, 02, 04)
- [7] <http://www.lexi.co.jp/> (2010, 02, 04)
- [8] <http://www.sesam-web.org/> (2010, 02, 04)
- [9] <http://www.ircad.fr/> (2010, 02, 04)
- [10] <http://www.passport-liver.eu/Homepage.html> (2010, 02, 04)
- [11] <http://www.comp-anatomy.org/wiki/> (2010, 02, 04)

【略歴】

寺田尚史 (TERADA Takafumi)

三菱プレジジョン (株) 技術開発部

1985年熊本大学工学部電気工学科卒業, 1987年同大学院理学研究科修士課程終了, 1988年三菱プレジジョン (株) 入社, H-II ロケット地上設備, ETS-IV ランデブドッキングシミュレータ, フライトシミュレータなどの開発を手掛け, 現在, ハプティックデバイス及び手術シミュレータの研究開発に従事。計測自動制御学会, 日本 VR 学会, 医用画像工学会, 日本 VR 医学会会員。