

特集 ■ 医療から見たVR

医学教育におけるVRのニーズ



高橋優三

岐阜大学

TAKAHASHI YUZO

1. はじめに

医学教育におけるVRのニーズ、言い換えると効果的な医学教育にVRが貢献できるもの、これは膨大である。技術面から分類してみると、情報提供のツールと双方向性実現のツールとしての貢献に集約される。応用面は幅広く、VR教材は無数に開発できる。本稿では医学教育にVRを利用するのに役立つ知識を述べる。

2. ツールとしてのニーズ

2.1 情報提供

デジタル技術は①高画質の映像、②立体映像、③動画、④大容量の記録、⑤安価、⑥小型、⑦複製しても劣化しない、⑧即時性、⑨検索機能などの諸点において、教育に必要な情報を蓄えて提供するツールとして圧倒的に優れている。IT技術を基盤としたVRもこの利点を内蔵している。従来の書籍を用いた教育は、歴史的に貢献が大であったし、またアナログ写真やビデオも利用価値が大であったが、情報提供のツールとしての価値は、将来的に限定したものになるであろう。

2.2 双方向性

教育に関して、まず最初に認識を頂きたいのは、教育には教える側と学ぶ側の双方向性が必要ということである。双方向性の確保により、個人の特性に基づいた教育方法が採用でき、個人の能力を最大限伸ばす教育が可能になる。ここで言う個人の特性とは、学びの方法や情報処理の得手不得手、興味などである。この個性に加えて、その時点での学習進展状況を考え合わせてテーラーメイドの教育を進める。すなわち学習者一人一人の状況を把握しつつ教育する。これはいわば名人芸であり、従来、教員の個人的才覚で行われてきた。

また我々は現実の生活の中で揉まれつつ相互反応し、生き延びてきた。つまり生活自身が真剣勝負の双方向性に満ち溢れており、最良の教育の場・学習の場でもある。

大講堂での教育は、マイクが発明されてから可能となったが、個人の特性無視、標準的な学生に合わせての教育であった。教育資源が乏しい時代に有っては、やむを得ぬ選択であった。ところが、ITの進歩のため、学習者との双方向性を持つVRが出現し、事情は激変した。さらに子供が実体験不足のまま大人になるという社会変化が起こったが、VR技術進歩による臨場感溢れるシミュレーションでの体験代替が夢想され、期待は高まるばかりである。

3. シミュレーション教育の可能性と限界

シミュレーションの意味は広いが、医学教育では、医療の現場や人体内での生理、病理、治療などを再現し、教育に活かすものである。この再現には、シミュレータ・マネキン、ロール・プレイ、VRなどが用いられる。

3.1 シミュレーションに期待できること

On the Job Trainingは大きな効果があるが、全てを現実の世の中で教育するには無理があるし、またVRを利用した教育、言わばセカンドライフ(定年退職後の生活ではなく、ネット上の仮想生活)におけるシミュレーション教育のほうが優れている面もある。

シミュレーションの特徴は、①失敗が許される学習環境である、②再現性がある、③現実の世の中なら体験しにくいことを模擬体験できる、の3点にある。

3.1.1 失敗が許される

医療技術の訓練では、「こうすれば、巧くいく」「ああすると、患者は死ぬ」式に、成功だけが求められる。成功体験の押し付けでは、考える能力のある次世代の育成が出来ない。また人間としての判断が求められない状況では、そもそもモチベーションが上がらない。次世代を任せられる人材を育てるには、失敗から学べる環境が必須である。

3.1.2 再現性

大勢の医学生を教育するのであるから、「いつでも、

どこでも、だれでも」式に勉強の機会に再現性があることは断然有利である。

医学部には臨床実習がある。これは、実際の患者を用いた実習であるため、勉強したい疾患の患者がいなければ、その疾患の実習ができない。言葉が悪いが、つまり当たり外れがある。

大学病院の特色として、風邪ひきや食当たりなどのありふれた疾患の患者は少ない。大学病院は稀な疾患を経験できる教育病院であるが、その稀な疾患の種類があまりにも多いため、稀な疾患の全ての種類を経験できるわけでない。このへんてこりんな状況打破のためには、バーチャル患者がいつでも、どこでも、何回でも登場してくれる VR 環境が、待ち望まれている。

3.1.3 模擬体験

例えばアナフィラキシーショックは、注射を打った直後に患者が急変し、適切な処置をしないと急死する可能性があるため医師が恐れる事態であるが、これに遭遇するのは、稀である。その稀にしか起こらない事の対処は、従来イメージトレーニングで学んでいた。それが VR では、任意の時間と場所で繰り返し体験できるので、実務能力の取得に、圧倒的に有利である。

また、チーム医療を行うに当たっては、看護師と医師がお互に立場を理解していることが、大切である。そのためには、看護師が医師の役割を経験しておくことが効果的であるが、現実の世の中では、ほぼ無い。しかし VR 環境では可能である。

医学教育的には、この VR 環境は、学習者の出来（パフォーマンス）を話し合う（フィードバック、内省する）のに適している。本物の患者が居ない場であるので、遠慮のない教育的指導ができる。この内省により、学習者は、「自分は何ができて、何ができない。だから、次にこれを私は学習する」という自己決定型学習に至る。

3.2 シミュレーションでは、解決困難なこと

工学側の最先端の研究成果により、VR の進歩は日進月歩で、現在未解決の問題も、近い将来には見事に解決される場合が多いと思われる。現在の課題については次項で述べるが、根本的に解決が難しいのは、①青天井の技術開発と②プロフェッショナルリズムの2点である。

3.2.1 青天井の開発

高度な技術で開発したシミュレータに対して、開発者の思い入れは深い。しかし一度でも公開されると、その技術が当たり前ものとなり、次にはそれ以上を期待する。人の生命がかかわる臨場感や神様の作った人体の妙を忠実に再現するには限界が無い。すなわち技術開発は青天井で、いくらやっても終点がない。

3.2.2 プロフェッショナルリズム

臨床医学で重要なことは、患者と、どのように向き合うかという職業的な姿勢であり、このプロフェッショナルリズムだけは、VR で教えられるものではない。医療現場でロール・モデルが「背中で教える」という極めて人間チックな領域に、VR は手が届かない。

4. 医療の現場を臨場感のある VR で再現するための工夫

4.1 入力装置での工夫

最初に我々が目にしたコンピューターは、入力装置としてタイプライターを流用したものであった。これは、便宜的であったが役に立った。しかしコンピューターが日常の業務に入れば入るほど、キーボードでテキスト入力するだけでは賄いきれない機能を求められる。特に医療の現場を臨場感に富む VR で再現するためには、日常業務の動作を入力手段にするのが効果的である（後述の AR を参照）。

4.2 アルゴリズムの工夫

医学教育における VR は、①医療現場の人間行動、②患者の生理や病理、③混合型に分類される。①のアルゴリズムは、治療指針や院内規則など人為的なものである。したがって VR のプログラムを組む時も、明快である。

②のアルゴリズムは、神様が作った生理学であり、人間が医学と称して解明したのは全体の1%か、多くても10%程度であろう。つまりラプラスの悪魔は、まだ存在しておらず [1]、これをアルゴリズムとして VR のプログラムを組むのは至難の業である。とりあえずの解決策は、極めてよく知られた反応系のみを用いて閉鎖系で演算プログラムを組むか、または、入口（入力）と出口（出力）だけを、「こうなるはず」だとして一致させた便宜的なアルゴリズムで動く VR の開発である。

4.3 出力装置の工夫

4.3.1 haptic

手術器具を入力装置に使う、器具をバーチャル肝臓に押す力を与えた指先に返って来る抵抗を感じる・・・「先生、この感触ですか。わかりました!」・・・とても素晴らしい VR であり、手術訓練に使える。しかし、こんな訓練、本物の患者でやられたら、患者はたまったものではない。それ故 haptic な出力装置は切望されている。現在市販されている医療のシミュレーター訓練用には、指先を感じる微妙な抵抗感だけで十分な効果が得られる。指の腹で感じるザラザラ感の再現・消去の制御は難しいであろうが、温かい・冷たい式の温度感覚は、単純な装置の付加で出力できる。

4.3.2 高画質の映像

大画面で観る時は、情報が画面から飛び出して来る。

小画面の時は、画面へこちらから情報を取り出しに行かねばならない。つまり大画面と小画面の差は、面積の大小という単純な差ではない。画面情報が脳に与えるインパクトに、大きな差がある。cave 型の画面は①視野の周辺部からの情報も同時に入ってくる、②周囲を見渡すという通常の行動も可能、などの点で人間の生理的な視覚を再現できる。このような大画面を実現するためにも高画質の映像が望ましい。

4.4 On Demand 性を大切にすべき

「食べたい時が美味しい時」は食べ物だけではない。「見たい時が面白い時」なのである。また、「間延び」が全てをぶち壊しにするのは、漫才だけではない。「では、ここでビデオを供覧しましょう・・・あれっファイルはどこに?・・・おかしいな・・・たしか・・・」見苦しい狼狽で時間を食ってしまうと、人々の興味は急速に減衰する。VR の進行に合わせて関連の教材が絶妙のタイミングで出てくるシステムの構築が望ましい。

4.5 システムはハイブリッド型

cave 型の映写室の中に学習者が入り、医療現場のビデオ映像が映し出される。学習者の動きがモーションキャプチャーされて、それに反応したビデオ映像が映し出される。さらに声にも反応して、変化する・・・素晴らしい VR 教育環境である。これはぜひとも研究開発を進めて欲しい。映像や音声の出力は満足度の高いレベルに到達できても、haptic な出力については、現実に忠実なもの開発は容易ではない。それを考えると、いわゆる Augmented Reality は注目すべき考えである。すなわち、学習者の周囲には、病院の環境が実際の物を用いて再現されている。それに仕掛け(センサー)が内蔵してあって、学習者の医療行動が入力される。反応は実際の器具に出力される。VR の出力だけで再現するには限界がある場合、病院の物品と VR の組み合わせ、つまり AR は現実的な解決策になる。

4.6 医学教育用の教材に VR で取り入れたい要素

上記 (Bilateral, On Demand) のほか、結果が Visible, Measurable, 内容が Reality と Amusement に富む、などが教育に有用である。

4.7 医学教育の原理を取り込んだプログラム

前述の如く全再現型の VR による医学教育は、誰しもが望んでいるが、その技術は、青天井・・・実現は 100 年先かも。その暁には、優れた教員の技術模倣や、実際の世の中で採まれつつ成長する OJT の教育も VR に期待したいが、これに至るまでの間、現有の資源で目的を絞っ

た医学教育プログラムで今日をしのぐ必要がある。方法の詳細については、拙著を参考にされたし [1]。

5. 医療安全訓練への応用は VR の真骨頂

患者は病を治しに病院へ来ている。医原病(医療によって引き起こされる疾患)で苦しむのは本末転倒。それゆえ医療における患者の安全の確保は、前提的に重要。

医療行為は、多種多様、患者ごとに異なり、時間ごとに変化し、判断に即時性が求められる。しかも多職種が入り乱れる高度技術。これが毎日、日本全国津々浦々、無数に行われている。医原病につながる医療ミスを防ぐための仕組み作りと教育訓練は必須である。

そのような安全対策を通して浮かんで来るのは、「人間はなぜミスをおかすのか?」、「そもそも人間はどのように行動の決断をしているのか?」の疑問であり、脳の認知生理を理解し、ここを突くのが、医療の業務を全員が安全に遂行できる安全教育のポイントである。VRこそ、その教材作りに最適と断言したい。

5.1 人間はどのように行動の決断をしているのか?

5.1.1 情報収集の段階

人間は、外からの情報を視覚、聴覚、嗅覚などで得、これを、脳に集めて演算し、理論的に判断し、感情的に決断し、行動する。ここで留意すべきは、すべての情報を“意識に上げて”この作業をしているわけではないという事である。われわれの脳は、これだけの作業が可能 RAM メモリーが足らず、演算速度も遅い。

まず視覚の例を挙げてみると、“意識に上げて”思考に用いるのは、重要と判断し注視して得た視覚情報であり、その他の情報は、今までの例やまたは周囲の状況から判断して、「こんなもんじゃろ」式に勝手に情報を補って思考を進めてしまう。例えば人間は school のミスタイプであっても、前後の文脈から判断し school として読んでしまう。視覚の認識に周辺の情報が関与しているから「1」を「1」と判断する。もちろん注視して「こんなもんじゃろ」式を排除すれば、読み間違いは無くなる。

BOX 重要視していなかった事でも、急激な変化があれば、外敵など身に迫る危険の兆候であると判断し、「こんなもんじゃろ」式の報告を止め、正確・即時の情報を意識に上げる仕組みが動物にある。もちろん人間にもある。人々の注意を引くのに点滅が用いられるが、あちこちで点滅が同時進行すると、効果は薄れる。

これをコンピューターの情報処理と比べると興味深い。コンピューターは、「1」と「1」の差を 100% 感知するし、間違いを生真面目に受け止めるので、一字でも狂うと dead rock に乗り上げる。ガチガチ脳タイプの人でも「気が利かないヤツ」と職場で怒られやすい。

人間の情報処理の“いい加減さ”は、現実の世の中で生存を続けるために総合点では有利に働くと言える。そもそも人類発生的には、わずかな情報不足でどちらに逃げて良いのか判断停止で立ちすくむタイプなら、ライオンに食われ、全地球に広がる前にアフリカで淘汰されてしまったはず。

5.1.2 判断の段階

日常の振る舞いで、行動に移っても OK か否かの判断は、①逐次型判断、②直感型判断、③混合型に分けられる。逐次型はコンピューターのように“すべての項目”を、判断基準に基づきいちいちチェックをする。直感型は読んで字の通り一括判断する。実際には、そんな単純に分けられるものではなく、両者が混合しており、その混合比が異なるだけの差である。

子供の時から判断を迫る訓練をすると、その分野での直感型の判断をする脳の回路が形成されるため、他者を圧倒する能力開発には、幼児からの体験学習が有利である。しかし我々が立案すべき医療教育は、大人への教育である。直感型の判断育成が有効の脳年齢ではないし、また医療は全員が確実にできるべき作業であるので、逐次型の要素を多くせねばならない。このためには天才の脳がどのような項目をチェックして OK を出したのか、構造化し、項目を挙げる必要がある。

この構造化には、ぶきっちょな人の視点が役立つ。天才は、複数の項目を一括処理してしまう脳の回路を持っているため、現象的には「直感で判断してしまう」と表現される傾向がある。本人に問いただしても「なぜか出来てしまう。他の人は、なぜ出来ないの?」。この意味で名人芸を構造化するには、天才にやらせるよりも、ぶきっちょな人の分析が向いている。

初心者段階では、この構造化した個々の項目について OK を出しつつ行動をするか否かの判断をする。しかし習熟者の段階にさしかかると「状況がいつもの通り」と判断し、一括 OK を出して作業能率をあげなくなる。いわゆるベテランの早業である。ただし残念な事に①状況が異なっているのにそれを認識しそこなう、②状況変化を認識できたのに「状況がいつもの通り」と誤信号を次の脳回路に送り、結果的に一括 OK を出してしまふ、などが起こる。いずれも事故につながる人間の判断ミスである・・・つまり「どうしてこんな判断をしてしまったのだろうか・・・」本人にもわからない。

VR が医療教育に貢献できるのは、人間の判断の作業を構造化し、どのように OK を出しつつ行動に移っているのかを誰にでもわかりやすく提示することである。医療の現場の高度な作業は言語で表現するより VR で表現する方が、はるかに伝達しやすく、最適である。

BOX 人間の脳における選択

第一案：情報処理に完全一致型で、完全さを求める代わりに、コンピューターのようにバグや情報不足に出会う毎にストップする道を選ぶのか？

第二案：柔軟型で、バグや情報不足があっても対処できるが、時々ミスを犯す道を選ぶのか？

人間は後者を選んだ。つまりミスは人間の宿命である。

人間の脳の情報処理は、とりあえずその場を切り抜ける方策を決定できる仕組みだし、また自己学習効果を発揮してどんどん賢くなるので、マクロ的には生存には適しているが、ミクロ的には「なぜこんな間違いを!？」式のミスを連発する欠陥マシンでもある。

幾多の試練を乗り越えた人類であるが、対処不能の状況に追い込まれて、精神状態や行動に病的変化をおこす人もいる。精神病のヒステリーや記憶喪失が、その例である。特に、巷でデジタル思考と呼ばれている人は、いい加減がまかり通る浮き世を渡って行き難い。

5.1.3 決断の段階

人間、OK と判断しても、その実行を決断するには、もうワンステップの敷居がある。判断は理性的なステップだが、決断は感情的なステップである。つまり人類は、行動を起す前に、この異なった二つの審査基準で行動の安全を確認する道を選んだ。

世の中、決断が早い人もいるし、遅い人もいる。即決し責任も取ってくれる人、説得できても煮え切らないままズルズルの人。慎重な人、迂闊な人。この種の間人チックな事は、前述のプロフェッショナルリズムと同様、VR になじまない分野である。

5.2 習熟に潜む危険

人は同じ事を繰り返し経験すると脳は、次に何が起こるのか予想し、その準備をする。この特性があるからこそ、初心者はぎごちなくても、だんだん行動はスムーズになる。予想した通りのことが起こると、脳は快適であるが、それが続き過ぎると退屈する。予想が外れると「あれ!？」と感じる。これは不快に結びつきやすいが、時々巡り合う小さな不快は快感でもあるから、人間は単純ではない。芸術、特に音楽は、これを利用して人々の心を揺さぶる。VR は変化自在の特性を持つので、リズムの変化を医療教育における nonverbal のメッセージ伝達方法として利用しやすいはずである。

BOX 階段の昇降時、まだ続くはずの階段が終わっていた時の衝撃は、すさまじい。これは、人間の体が無意識の内に、次を予想して準備をしている証左である。

5.3 思い込みが生むミス

人間は聞いた物・見た物全てを、平等に判断に組み入れているのではない。人間には、自分の考えに合っている情報をつまみ食いするという特性がある。人間が進化

のいつの段階でこのような悪い癖を持つに至ったか不明であるが、考えてみると、なかなか良くできた仕組みでもある。世の中、冷静に情報収集すると、白黒ははっきりしていない事が多いので決断に迷う事ばかり、人間としての苦悩が大きい。それゆえ、自分の考えに都合の良い情報が集まりやすい仕組みなら、判断に迷いが少なくなり、幸せかも。典型例は以下の様な場合・・・ひろし君は、ひろ子さんとけい子さん(3人とも仮名)と交際し、選択に苦悩していたが、いつのまにかひろ子さん一人に傾斜、迷いは消え、幸せの有頂天で結婚した。

人間の情報収集にはバイアスがかかる。一度思い込むと、それに合致した情報だけがさらに思考に集中し、ますます思い込みが激しくなり、いつの間にか均衡を欠いた判断に至る。これが医療の現場では、とんでもない判断ミスにつながる。この内在した人間の欠陥を VR による体験で気がつかせる教育プログラムを作るのは、とても有意義である。

なお、上記のひろし君の結婚がその後幸せであったか否かは、定かでない。

5.4 言った、でも伝わっていない悲劇

理由は良くわからないが、“かん高く早い声”を認識するのは、難しい。つまり、事故寸前にヒステリックに叫んでも、verbal メッセージは伝わりにくい。なんだかよくわからないが取り乱している、という nonverbal メッセージだけがピンピン伝わる。

これに関する二つ目の不幸は、言ったはずの事が相手に伝わっていない事に本人が気がついていないという事だが、それを指摘するのは、新たな地獄を招くので、誰も口にしたがる。この猫の首に鈴を付ける的な事を VR 技術で、さりげなく本人に気がつかせるプログラムができれば、精神的安穩が得られる人は多い。

5.5 名前の記憶の場所とイメージ記憶の場所が異なる

人間の知性の特色の一つは、名称を付けるということである。名称を付けるのは、人や物品だけでなく、行為などにも名称が付けられ情報処理を行なっている。この名称を意識に上げれば、それに関するイメージが芽する様に“意識”にインストールされ、そのときの視覚・聴覚情報と共に思考の判断情報になる。これが下等動物の脳を上回る能力であるが、名称の記憶部位と、イメージの記憶部位とは、脳の中で別の場所である。この機構はコンピューターに似ており、メモリーの儉約の面からしても妥当な戦略である。

この二つがかなり離れた部位に記録されていると考えたくなるような事例が見られる。つまり「顔や性格は思いつくが、名前が出てこない・・・」、または「○○

と○○の記憶がごっちゃ混ぜになっている・・・」、これは年寄りに多い。毎日、脳の細胞は沢山死んでいる。記録されている部位が遠ければ遠いほど、長い経路の途中で寸断される確率は高くなる。

なぜ勘違いするのか？原因は複数あるが、その一つは名称が脳の他の場所に記録されているためであろう。さらに、同じ名称を他人は他の意味で使っている場合もある。この意味でもイメージを意思疎通のツールに用いる VR 教材は、安全教育に抜群の選択である。

5.6 動作の手順はしばしば無意識に

人間、名前を忘れやすいが、動作の手順は忘れにくい。数年ぶりでも自転車に乗れるし、ダンスのステップだって覚えていて、一度踊り出せば自然に体が動く。会得した動作の手順の記憶は、知的な記憶とメカニズムが異なる。最初は全神経を集中させておぼえた作業も慣れてくるとダンス並の記憶に移行し、一度作業が始まれば、“自然に体が動く”から怖い。医療の作業は、意識に制御されるべき運動なのだ。もし意識に制御されず、“自然に体が動く”といつか重大なミスに結びつく。

これを防ぐために、指差確認が推奨されている。電車の運転手は、必ず作業を指差確認している。VR ではこの指差確認をビデオキャプチャーで捕らえ、入力情報とし、教材に仕立て上げられるはず。

6. 稿を終えるにあたって

医学教育と VR の複合領域は、魅力的である。高いレベルの技術開発が必要であるし、研究成果の応用価値も大きい。しかしこの分野への工学側の参入には障壁がある。それは医学が外来者には暗黒大陸的で、思考地図を持ってないことである。著者は医学と情報工学の通訳的な役割を果たせる位置にあるので、本稿では有望な研究に結びつく領域について水先案内人的な説明を心がけた。何が狙い目か、研究進展のヒントになれば幸いである。

参考文献

- [1] 高橋優三, 奥幸子: 医療シミュレーション, *Journal of Integrated Medicine*, 19, pp. 102-105 (2009)

【略歴】

高橋優三 (TAKAHASHI Yuuzo)

岐阜大学大学院医学系研究科医科学専攻分子・構造学講座寄生虫学分野 教授。医師、医学博士。

1948 年長野県小諸市生まれ。1974 年奈良県立医科大学卒業。専門は、細胞生物学、寄生虫学、医学教育学。内科研修、奈良医大解剖学の助手及び講師、カリフォルニア大学リバーサイド校生物学 Postdoctoral Fellow、ジョンズホプキンス大学医学部皮膚科 Visiting Professor、ウイスコンシン医科大学皮膚科 Visiting Professor、奈良医大寄生虫学の助教授を経て、1992 年より現職。2001 年より 4 年間、全国共同利用施設医学教育開発研究センター長。