

3次元印刷された患者実体モデルによる手術技能研修支援 - Realized Virtuality -

山下 樹里^{†1} 横山 和則^{†2}

急速に高度化する医療機器を使いこなすには、十分な技能研修が必須である。手術の技能研修方法として米国などでは新鮮凍結屍体を用いた *cadaver training* が実施されているが、わが国では昨 2012 年に日本外科学会／解剖学会がガイドラインを発表したばかりである。VR (Virtual Reality) トレーニングシステムも開発されているが、現実の複雑さには及ばず、かつ使用できる手術器具が限定されてしまう。筆者らは、医用画像から 3 次元印刷した手術可能な精密患者モデルと、それを利用した遠隔手技技能研修システムを開発し、その有効性を実験的に確認した。

Endoscopic Surgical Training Using 3D-Printed Patient Models - Realized Virtuality -

JULI YAMASHITA^{†1} KAZUNORI YOKOYAMA^{†2}

This paper reports a 3D-printed precise human paranasal sinus model and a tele-mentoring system using the model with virtual "mirror" interface for manual skills training in endoscopic nasal surgery. The model has precise anatomy reconstructed from patient's CT images and has material and structure that allow surgeons to incise the model using clinical surgical equipment with similar haptic feeling to that of real patients. When materials and structure is carefully designed, 3D-printed patient models, or materialized virtual patients, can be better than virtual reality simulators.

1. はじめに

近年、内視鏡や手術ロボットなど医療機器の発展が目覚ましいが、これらの高度な医療機器を安全に使いこなすには十分な技能研修が必要である。しかし、安全で効率の良い研修環境が整っているとは言いがたい。

従来、手術研修は医療現場での *On the Job Training (OJT)* として実施されてきた。具体的には、手術見学の後、助手として手術に参加して経験を積み、熟練医（助手として参加）の指導下で執刀し症例を積み重ね、独り立ちしていく、というプロセスである。研修期間中も指導医がマンツーマンで指導することで、安全性が担保されていた。

しかし、医療機器は人件費削減のため手術参加人数を減らす方向で開発されており、単独の術者で行うソロ・サージェリー化が進んでいる。ソロ・サージェリーでは助手がいないため、従来の手術研修方法では対応が難しく、しかも術者は単独で手術を実施できるだけの能力を求められる。OJT では、技能が未熟な状態で患者に接することによる潜在的な危険性が否定できない。そこで、実際の患者に触れずに実施する研修である *Off the Job Training* の開発が急務となっている。

現在実施されている *Off the Job Training* には以下のようなものがある：

a. 教科書やビデオ教材 (E-Learning を含む)：基礎的な学習は可能であるが、3 次元的な手術操作や複雑な解剖構造

を言葉で表現することは難しく、「知っている人が読めばわかるが、知らない人にはわからない」ことが多い。また、ビデオの 2 次元画像から 3 次元的な操作を学習するのが容易ではないことは、スポーツのビデオ学習が難しいことから理解できよう。

b. 手術見学：手術の進行・機器配置などを学べる。しかし「見る」と実際に「やる」のとではやはり隔たりが大きく、見学者が見るべきものをきちんと見ているかどうかはわからない。熟練医が難しい手技を手際良く実施するのを見て、「自分も簡単にできる」と誤解するケースもある。

c. 動物を用いた手技研修：腹部はブタを用いて手技研修が可能である。生きた動物を用いた研修は OJT に非常に近いが、高価であるため実施数は充分とは言えず、動物愛護の観点から今後実施が困難になると予想される。また、頭頸部など研修できる動物がいない部位も多い。

d. 献体による手技研修 (*cadaver training*)：OJT 並みの研修効果が期待できる。米国では新鮮凍結献体を用いた手技研修が盛んであるが、宗教上の理由などにより実施数が十分とは言えない国も多い。わが国では、法的にグレーゾーンであったところ、昨 2012 年に日本外科学会・日本解剖学会がガイドライン[1]を発表し、これから普及すると考えられる。また、わが国では献体をホルマリン固定するため、軟部組織の形状・質感が生体と著しく異なるという欠点がある。感染症の危険性も指摘されている。

e. 人工モデルによる研修：近年、実体モデルやバーチャリアリティ (VR) 技術によるシミュレータを用いる手技研修方法の開発が盛んである。従来の型取りによる表面形状のみを模した人体模型だけでなく、Computer Tomography

^{†1} (独) 産業技術総合研究所
National Institute of Advanced Industrial Science and Technology (AIST)
^{†2} 医療法人健南会 花クリニック南大通り
Hana Clinic Tsukuba South Avenue

(CT)など医用断層画像を元に内部構造も精密に再現し、さらに実際に手術操作が可能な実体／仮想人体モデルが開発されている[2]。腹腔鏡手術研修用など既に製品化されている VR シミュレータもあるが、非常に高価であること、また研修できる内容が初歩的であるためか、Box Trainer (箱の中にスポンジやゴム製の模擬臓器あるいは動物臓器を入れ、実物の鉗子類を使って研修するもの)に比べコストパフォーマンスに優れるかどうかは未だ研究途上で[3][4]、普及しているとは言いがたい。

筆者らは、ソロ・サージェリーで手技技能教授が難しい内視鏡下鼻内手術を対象として、通常の手術器具で手術可能な精密ヒト鼻腔モデルを開発、製品化した。また、本モデルを応用した遠隔手術手技トレーニングシステムを開発し、その効果を実験的に確認したので報告する。

2. 手術可能な精密ヒト鼻腔モデルの開発

2.1 対象部位：副鼻腔・前頭蓋底

副鼻腔 (図 1) は、顔の裏にある紙のように薄い骨で囲まれた複雑な形状の空洞で、互いにつながっている。感染症やポリープ・腫瘍などによりこの交通路が遮断されて孤立し、炎症が長く続いて膿などが溜まったものが慢性副鼻腔炎で、手術により副鼻腔を開放する必要がある。また、副鼻腔と脳の境界は前頭蓋底と呼ばれ、脳下垂体腫瘍なども鼻内から手術する。副鼻腔は脳・視神経・動脈など重要臓器と隣接しているため、未熟な手技スキルが失明や脳脊髄液鼻漏などの深刻な合併症につながりかねない。

近年、慢性副鼻腔炎手術 (耳鼻咽喉科) や脳下垂体腫瘍手術など前頭蓋底手術 (脳神経外科) が内視鏡 (図 2) を用いて鼻内より実施されるようになったが、その手技研修は適当な動物が無い場合 OJT に頼らざるを得なかった。しかし、内視鏡下鼻内手術はソロ・サージェリーであり、OJT において指導医は内視鏡画像を指差しながら言葉や身振りで指導するしかなく、安全性・効率の向上が望まれている。

2.2 内視鏡下鼻内手術手技研修用ヒト鼻腔モデルの開発 (2002 年～2004 年)

内視鏡下手術手技研修用の患者モデルには、内視鏡での拡大観察に耐える見た目・解剖構造 ("Look") と、鉗子など手術器具で操作した際の手応え ("Feel") のリアリティが必要である。特に、内視鏡下鼻内手術では、複雑な構造をした副鼻腔領域での複数の器具の同時操作を習得するため、解剖の再現が重要である。筆者らが開発した鼻腔モデルの開発プロセスは以下のものであった：

Step 1: 患者 CT 画像より対象臓器／組織 (骨と粘膜・皮膚表面の形状) を抽出し(segmentation), 3次元形状を再構築した。3次元再構築ソフトウェアは(株)レキシー製 ZetView などを使用した。

Step 2: 形状を補正。副鼻腔の薄い骨は解像度不足で CT

に映らないため、これを粘膜表面の形から推測して(粘膜壁の中央に骨壁があると考えられる), SensAble Technologies, Inc. (現 3D Systems) 製 FreeForm にて手作業で抽出した。FreeForm は3次元力覚呈示装置を備えた Computer Aided Design システムで、形を触った感触を得つつ削る/肉盛りできるため、人体のように有機的で複雑な形状の造形に適している。作成した形状データを3次元造形して確認し、形状の補正を繰り返す。筆者は、石膏粉体固着型3次元造形機 Z406 (Z Corp., 現 3D Systems) を身近に使用できたため、開発が加速できた。

Step 3: 手術操作できる生体に近い強度のモデルを作るため、素材・構造・製造方法を探索した。この3者は、3次元印刷においては互いに密接に関連している。副鼻腔の内部は細かく壁で区切られたセル構造であるため、この構造を再現できる製造手段は3次元印刷に限られる。

モデルの強度は、生体組織の物理特性データがあれば目安にできるが、鼻腔モデルでは副鼻腔壁などのデータが無かったため、熟練医が試作品を「手術」して手応えを主観評価し、徐々に生体に近づけた。人体の中でも特に薄く脆い副鼻腔を再現するため、試行錯誤の末、3次元造形した細い網構造に着色を兼ねた樹脂皮膜を形成する方法を考案した。最終的に強度が適当と判断された材料は石膏粉と光造形樹脂であったが、安価で耐熱性がありドリルが使用できる石膏粉材料を採用した。

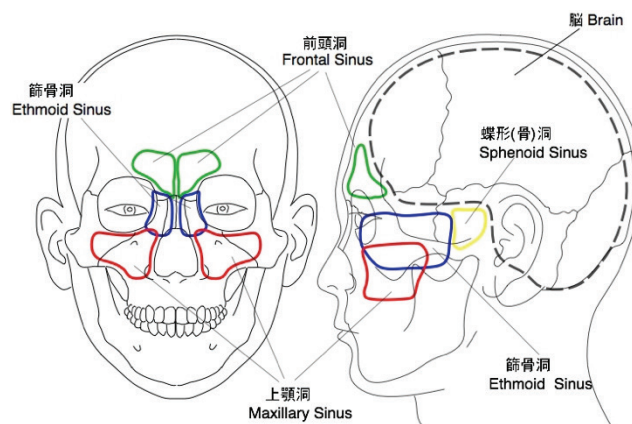


図 1 副鼻腔の構造

Figure 1 Paranasal sinuses

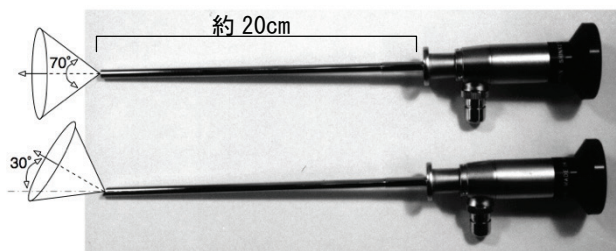


図 2 鼻内手術用内視鏡 (硬性鏡) の例

Figure 2 Rigid endoscopes for paranasal surgery.

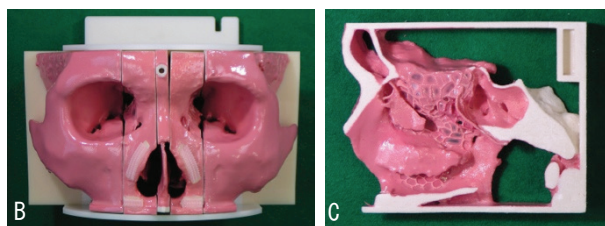


図 3 開発した手術可能な精密ヒト鼻腔モデル
 A: 全景, B: モデル内部, C: 骨部品 (右篩骨洞部分)
 Figure 3 Incisable paranasal model. A: overview, B: bone parts inside, C: a bone part with right Ethmoid sinus.

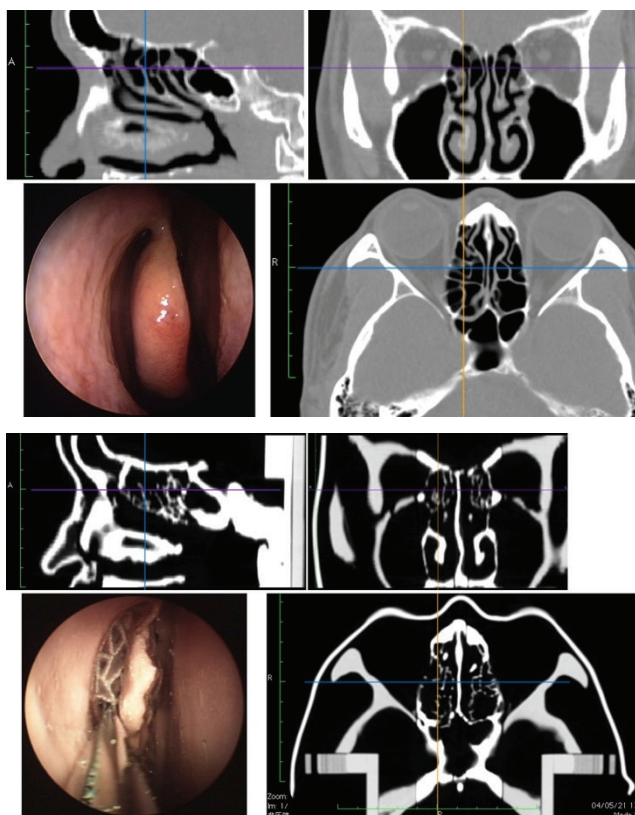


図 4 患者 (上) とそのモデル (下) との比較
 Figure 4 Comparison between the original patient (top) and his model (bottom).

Step 4: 妥当性の評価. 指導者レベルの耳鼻科医師の評価を受け, モデルを改良した. 2004 年度に耳鼻科指導医 12 名に実際に試作モデルを「手術」していただいてアンケート調査を実施し, Look & Feel は妥当であると評価された[5]. そこで, 素材・構造はそのままに, より広範囲を削開したいという要望に応じてモデル化する範囲を広げた.

2.3 結果

開発したヒト鼻腔モデルは, 粘膜色をしたドライスケルに近いものとなった (図 3). 鼻腔周辺を矢状断にて 5 個の部品に分けてあり, 手術研修して破壊した部品を交換すれば, すぐに研修を再開できる. 本モデルを CT 撮影し 3 次元再構築した形状は, 患者 CT から再構築された骨形状に重なり, モデル形状が妥当であることが確認できた. (図 4)

耳鼻科指導医へのアンケートでは, 以下の評価を得た:

- ・ 削開時の手応えは, 生体と献体 (ホルマリン固定) との中間のかたさである
- ・ 色は献体より生体に近い
- ・ 解剖構造は献体に及ばないが, 再現性・反復性・結果をすぐチェックできる点は優れる
- ・ 軟部組織 (粘膜など) が無いこと, 骨の滑らかな曲面がごつごつした網状になっていること (図 4) が不満

2.4 考察

2.4.1 実体モデル vs. VR システム: 開発前

筆者は触力覚 VR の研究者であるため, 2002 年に手技研修システムの開発を始めるにあたり, VR と 3 次元印刷実体モデルの選択肢があった. 最終的に実体モデルを選択した理由は以下の通りである:

- ・ 副鼻腔の手術では, 内視鏡と鉗子等の手術器具を 2 本以上同時に使用する (図 3A) が, 狭い頭部に 2 個以上の力覚フィードバックデバイスを実装することは非常に困難である. 実際に, VR システムの先行研究 [6]でも, 力覚フィードバックは仮想鉗子のみに限定されており, 仮想内視鏡に反力は呈示されない.

- ・ 手術操作における力の範囲が非常に広い. 0.1mm 厚程度の薄い骨への繊細な操作 (~0.1N) から, パンチ様の術具による 1~2mm 厚の骨の鉗除 (~1N), さらに器具全体で厚い骨を圧迫・穿孔する (~10N) などの操作があり, これらを全てカバーできる力覚フィードバックデバイスは市販されておらず, あったとしても非常に高価で大掛かりなものとなる.

- ・ 骨鉗除のシミュレーションが難しい. 副鼻腔手術の主な操作は, パンチ様の鉗子で骨を切除するというものであるが, 骨の破断のようなシミュレーションでは力覚呈示デバイスの制御が非常に不安定になりやすい. 力の強いデバイスが暴走するのは非常に危険である.

2.4.2 実体モデル vs. VR システム: 開発後

(1) 開発プロセス

患者医用画像を segmentation して 3 次元形状を再構築する

までは、実体モデル・VRとも共通である。次に、実体モデルでは素材・構造・製造方法を、VRでは視覚および触力覚レンダリングの方法を決めるが、いずれもバーチャルな表現であることに変わりはない。市販VRシミュレータの触力覚レンダリングパラメータも熟練医の官能評価で決められており、我々が実体モデル開発で実施した方法と何ら変わるところは無い。

(2) リアリティ

視覚的にも触力覚的にも実体モデルが優れる。部品の継ぎ目があるものの、臨床用の内視鏡でモデルを観察する方がOpenGLなどによるリアルタイムCGよりも、コントラスト・陰影・ハレーションはもちろん、破断時に材料の石膏粉が内視鏡の照明に照らされてキラキラと舞う様までが実物にそっくりであった。また、触力覚フィードバックもリアルタイムで、薄い骨から厚い骨までの広い範囲の力を安定して再現できた。ただし、物性の点では「もろい、ねばらない点不満(実物の骨は良くしなる)」とのご意見が多く、解決すべき課題として残っている。

(3) コスト

開発した実体モデルの購入希望が多かったため、産総研発ベンチャー企業「(有)サージ・トレーナー」を設立、2004年より製造販売を開始した。価格は1セット40万円未満、交換用パーツ(図3Cなど、消耗品)が3万円程度である。2004年当時、触力覚フィードバック付VRシステムならば数百万円を下らなかつたと考えられる。なお、本モデルを改良した経鼻下垂体手術研修用患者モデルは、2006年より脳神経外科系の学会にて実施されるハンズオンセミナー(医師向け実技講習会)で採用されているが、消耗品コストの低減を強く求められている。

(4) 研修内容

VRシステムでは、用意された模擬術具数種類を使った基礎的な手技研修メニューが用意され、タスク遂行時間や鉗子先端の移動距離・移動経路の滑らかさなどに基づいた評価点が付くことが多い。これに対し、実体モデルは術具・術式を選ばないという大きなメリットがある。手術器具は多様で、新製品が続々開発されるが、実体モデルなら問題無く研修できる。また、実際に新規医療機器の開発にもご利用いただいている。モデルでは自動的に評価点を付けることはできないが、手術操作後すぐに部品を取り出して結果を確認することができる。自分が「手術」した部品を持ち帰り、手術内容や解剖構造をじっくり観察することも可能である。

(5) 3次元構造の理解

筆者の個人的な感想であるが、開発当初、CADの画面にCGで表示された骨形状を見ても、解剖の教科書を読んでも、副鼻腔の構造がさっぱり理解できなかつた。結局、実物の骨標本と3次元造形したモデルとをCG・写真・図と見比べて、ようやく立体構造が把握できたのである。CT

画像はそこそこ読めるようになった現在でも、新しい症例ではCAD画面のみでは構造がわからず、やはり3次元造形したものを画面と比べて初めて正確な構造が理解できる状態である。以上より、検証を要するが、CGなど2次元の図で理解できるものは既に自分が知っているものの再認に限定されるのではないかと、この疑問を持つに至っている。

2.4.3 課題と展開

(1) 解剖構造・疾患のバリエーションの蓄積

手技研修用患者モデル(実体モデル・VRを問わず)に必要な事柄として、解剖構造・疾患バリエーションデータの蓄積が挙げられる。人体の中でも、副鼻腔周辺は解剖学的なバリエーションが非常に多い部位であり、疾患により構造が変化することも多い。また、初心者向けの症例から、熟練医向けの難しい症例まで、症例の難易度には幅がある。学習者の技能レベルに応じ10例程度の標準的な症例を用意したいと考え、現在、医療機関の協力のもとに患者CT画像・手術ビデオデータを収集中である。

(2) 3次元プリンタへの要望

難しい症例に関して、術前に実体モデルでリハーサルをしたいというご要望がある。現在、個別患者を新たにモデル化する際は、CT画像入手からおよそ3人月を要しており、期間短縮が課題である。また実体モデルに軟部組織を付加するにあたっては、素材・製造方法・コストが課題となっている。複数の素材で一気に3次元造形できる装置があれば、開発期間とコストをかなり低減できると考えられる。ゴム様柔軟素材と光造形樹脂を同時に造形可能な機種が市販されているが、生体レプリカに適した強度で発色の良い素材で造形可能な機器の開発が望まれる。

(3) その他の手技研修用鼻副鼻腔モデル

本モデル開発後、ブラジル製[7]や日本製[8]の鼻副鼻腔モデルが開発・市販されている。これらは軟部組織を実装しているが、解剖構造や素材の面で課題が指摘されている。また、筆者らは、近畿大学が開発した脳下垂体腫瘍内部の手術操作研修用モデル[9](鶏卵を腫瘍に見立て、ドリリングや硬膜縫合の手技研修を行う)を、前述の実体モデルに組み込んで製品化し、2013年より学会ハンズオンに提供できるように整備した[10]。

3. 実体モデルを用いた手技支援システム

3.1 手技技能レベル客観評価指標の探索

通常、手術手技技能の評価は指導医の主観評価に頼っており、客観的な指標としては手術の遂行時間・出血量が知られるのみである。しかし、客観的な指標が欲しいという現場の声は大きい。そこで、6軸力トルクセンサ(Nitta製)を取り付けた精密ヒト鼻腔モデルと、光学式位置センサ(NDI製)を付加した内視鏡を用いて、右篩骨洞開放術・ガーゼ詰めタスクにおける操作中のデータを学生・研修

医・熟練医について計測、分析した。

これまでに、副損傷の危険性・内視鏡画面の安定性・器具操作の慣れ、のような従来は言葉で表現されていた評価指標を、モデルの削開範囲・患者モデルにかける力の大きさ [11] / 方向のパターン・内視鏡画面の傾き角度などの物理量を用いて客観的に数値化することに成功している。

3.2 手術手技遠隔教授システム

前記の評価指標計測において、手術操作中の被験者の姿を記録したビデオを分析したところ、初心者・初級者の操作の不安定さの原因が、かなりの部分、操作時の悪い姿勢や手術器具の誤った持ち方にあることが判明した。これに対し、熟練医には共通する操作の「型」と呼べるものがあり、何度でも安定して同じ操作を繰り返すことができる。そこで、スポーツや舞踊の「型」を鏡の前で練習することにヒントを得て、鏡のメタファーである「HyperMirror™ (以下HM) / 超鏡」インタフェース[12]を応用し、熟練医が持つ操作の「型」を効率よく教えることのできる手技トレーニングシステムを開発した。

3.2.1 モデル対モデルによる初心者への手技遠隔教授実験

指導者／学習者の両サイトに鼻腔モデルを置いたシステムを実装し(図5)、2007年に金沢医科大学(石川県)と産総研(茨城県)を結んで内視鏡下鼻内手術手技の遠隔トレーニング実験を実施した[13]。両サイトは同じ機器構成となっており、上段のモニタ1・2で相互の内視鏡画像をリアルタイムで比較できる。双方が同じ患者モデルに同じ術具で同じ操作をするが、学習者ができないときは下段のHMモニタ3・4で何が違っているかを比較する(図6)。これは同じアングルで撮影した指導者と学習者の映像を隣同士に合成した後、左右を反転して鏡像にしたもので、両者の動作の違いが非常にわかりやすい。正面と側面の2方向のHM映像により、3次元的な動作である内視鏡等の術具操作を正確に比較・指導することが可能となった。

遠隔指導実験とその2ヶ月後の定着確認実験の結果、初心者(金医大生11名・7名)に対して遠隔での技能教授が可能であることを確認した。また、操作中に患者モデルにかかった力の大きさは熟達度の指標として適切であるが、

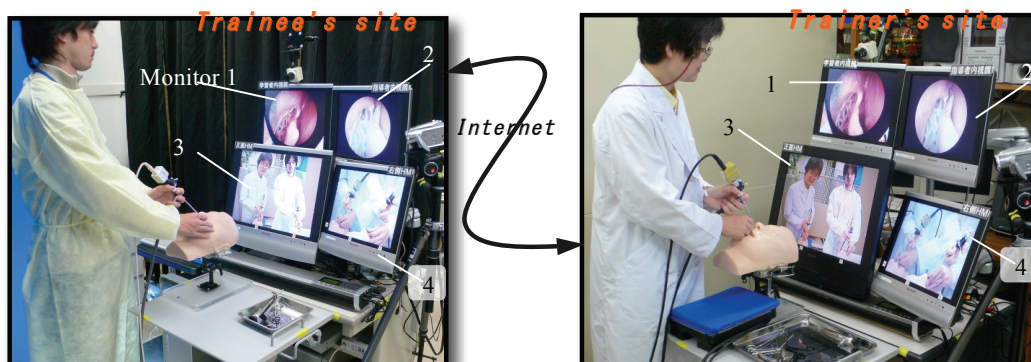


図5 手術手技遠隔教授システム 全景

Figure 5 A distance manual surgical skills training system overview.



図6 HyperMirror™インタフェースによる合成映像 左:正面図, 右:側面図

Figure 6 HyperMirror™ images. Left: front view, Right: side view

操作時間はそうではないこと、指導医による達成度評価より自己評価が高い学習者群の存在などが明らかとなった。

3.2.2 患者対モデルによる研修医・若手医師への遠隔指導

モデルによる手技研修では、基本的な手技の学習は可能であるが、あくまで部分練習であり、手術全体の進行や手術室スタッフとの連携、解剖の実際や出血など緊急時の対応など、OJTとのギャップはまだ大きい。そこで、OJTに入る前の研修医が実際の手術を臨場感とともに体験できるシステムを開発した[14]。まず、手術予定の患者様のモデルをあらかじめ作成しておく。手術室で指導医が手術する際に、シミュレーションラボに居る研修医がその患者のモデルを同時に手術しながら指導医を追いかける。双方は内視鏡画像・HM画像を共有し、指導医が手術室からリアルタイムに指導する(図7)。2009年～2012年に筑波大学にて3例の遠隔指導を実施し、研修医がひとつの手術を最初から最後まで、手術室の様子を見ながら疑似執刀経験できること、また手術室側でも患者モデルが立体手術ナビゲーションとして局所解剖の確認に役立つことがわかった。

次に、OJTで手術を執刀する若手医師を、すぐ隣で指導医がその患者のモデルを手術しながら指導する、手術室内隣接型の遠隔指導システムを開発し[15]、2011年に関西医科大学にて1例の指導実験を実施した。従来のOJTでは、指導者は内視鏡画面を指して言葉で指導するか、指導者が執刀する若手医師の腕をつかんで「二人羽織」状態で操作を教えるしか無かったが、本システムでは指導医が自身の

手や手術器具で若手医師の内視鏡画像（患者手術映像）を指し示すことで微妙な術具操作の指導が可能だった（図8）。また、双方で同じ部位を参照しつつ、モデル側で眼窩紙様板や天蓋など危険部位を削開することで、削開範囲の限界

と局所解剖を指導できた。従来 cadaver training でなければ不可能であった局所解剖を、術場で安全に指導できることは画期的である。

3.3 今後の展望

現在、リアルタイム遠隔指導のかわりに、録画した教材映像や手術映像を用いた手技自習システムを開発中である。稀少・高難度症例の映像を用いれば、熟練医向けの症例共有システムとしても有用である。今後、他科への応用を含め、初心者-OJT-上級者までをシームレスに支援できる遠隔手技研修システムとして発展させていきたい。

謝辞 ご協力下さった患者様および各医療機関の皆様
 に、謹んで感謝の意を表する。

参考文献

- 1) 日本外科学会・日本解剖学会：「臨床医学の教育及び研究における死体解剖のガイドライン」について(2012)
<http://www.jssoc.or.jp/journal/guideline/info20120620.html>
- 2) 山下樹里：手術可能な精密モデルとその応用 ～自己評価から遠隔指導まで～、日本コンピュータ外科学会誌, Vol.8, No.2, pp. 71-75 (2006).
- 3) Munz, Y. et al.: Laparoscopic virtual reality and box trainers: is one superior to the other?, Surgical Endoscopy, Vol.18, No.3, pp.485-494 (2004).
- 4) Kimura, T. et al.: Usefulness of a virtual reality simulator or training box for endoscopic surgery training, Surgical Endoscopy, Vol.20, No.4, pp.656-659 (2006).
- 5) 山下樹里他：手術可能精密ヒト鼻腔モデルのアンケート評価、耳鼻咽喉科展望, Vol.19, No.5, pp.278-280 (2006).
- 6) Edmond, C. V. et al.: ENT Surgical Simulator, Final Report—Cooperative Agreement No. DAMD17-95-2-5023 — HITL Technical Report R-99-14. U.S. Army Medical Research and Materiel Command. Fort Detrick, Maryland (1998).
- 7) Nogueira, J.F. et al.: Building a real endoscopic sinus and skull-base surgery simulator, Otolaryngology-Head and Neck Surgery, Vol.139, No.5, pp.727-728 (2008).
- 8) 大野興業：医療用精密立体モデル KEZLEX 経鼻内視鏡手術用 <http://www.kezlex.com/products/skull.html#A39>
- 9) Okuda, T., Kataoka, K., and Kato, A.: Training in endoscopic endonasal transsphenoidal surgery using a skull model and eggs, Acta Neurochirurgica, Vol.152, No.10, pp.1801-1804 (2010).
- 10) 奥田武司他：経鼻的内視鏡手術におけるトレーニングシステムの開発, 脳神経外科速報, Vol.23, No.3, pp.331-336(2013).
- 11) Kumagai, T. et al.: A New Force-based Objective Assessment of Technical Skills in Endoscopic Sinus Surgery, Proc. Medicine Meets Virtual Reality 15, IOS Press, Vol.125, pp.235-237 (2007).
- 12) Morikawa, O. and Maesako, T.: HyperMirror: Toward Pleasant-to-Use Video Mediated Communication System, Proc. CSCW 1998, pp.149-158 (1998).
- 13) 山下樹里他：仮想の「鏡」による内視鏡下鼻内手術の遠隔手技指導システム, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol.14, No.4, pp.445-454 (2009).
- 14) 和田哲郎他：手術シミュレーションによる新たな外科教育—内視鏡下副鼻腔手術への応用—, 整形・災害外科, Vol.54, No.02, pp.183-186 (2011).
- 15) Yamashita, J. et al.: An In Situ Tele-mentoring System for Training Endoscopic Surgery in the Operating Room, Simulation in Healthcare, Vol.7, No.6, pp.558-559 (2012).



図 6 手術室(上)-シミュレーションラボ(下)間での遠隔手技指導実験の様子(2010年,筑波大学)

Figure 6 Tele-mentoring experiment between OR (top) and the simulation lab. (bottom) (University of Tsukuba, 2010)

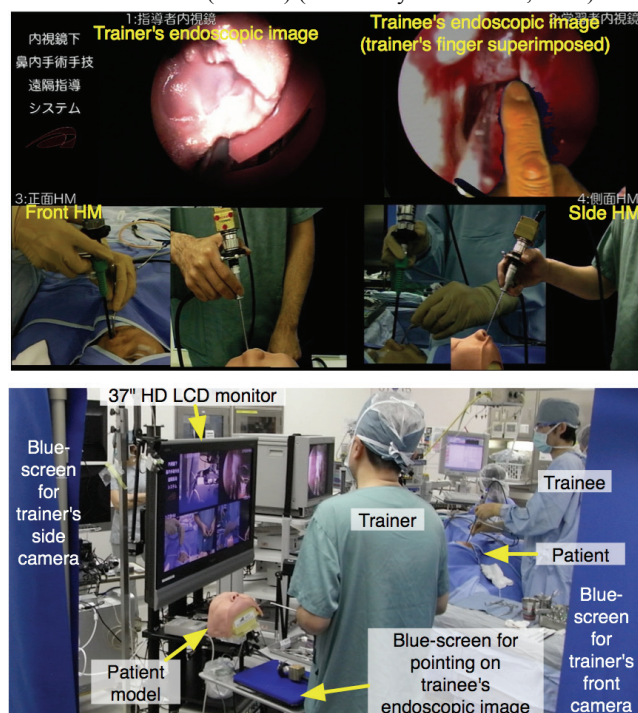


図 7 手術室内隣接型のOJT手技指導システム(2011年,関西医科大学)

Figure 7 Tele-mentoring system "On the scene" (Kansai Medical University, 2011).