

麻酔とテクノロジー

徹底分析
シリーズ麻酔領域と
シミュレーション教育の現在地技術進化と
学びの本質を考える

木村 哲朗・五十嵐 寛

シミュレーショントレーニングを受けたことのない麻酔科医はいないだろう。困難気道管理などの危機対応トレーニングセミナーに参加した読者もいるかもしれない。シミュレーション教育は、今や医療安全の向上と人材育成において欠かせない要素となっている。特にテクノロジーの進化によって、仮想現実 (VR) や人工知能 (AI) を活用したトレーニング環境が登場し、教育のスタイルそのものも大きく変わりつつある。

0.1≒ケイ
スミベタ医療シミュレーション教育の
歴史と技術進歩

医療における現代的なシミュレーション教育の起源は、心肺蘇生トレーニング用的人形「Resusci Anne™」の登場にさかのぼる (コード)。これは胸骨圧迫や人工呼吸の基本手技を反復練習する目的で開発され、繰り返し練習による技能の習得」という概念を医療現場に定着させた (コラム)。

1990年代に入ると、生理反応をリアルに再現できる高忠実度シミュレーター high-fidelity simulator (HFS) が登場した。なかでも、米国 METI 社が開発した「Human Patient Simulator™」は、呼吸・循環・代謝といった生体反応をリアルタイムで模倣でき、特に麻酔科教育に大きなインパクトを与えた³⁾。これにより、実際の臨床現場さながらの環境で危機対応を学ぶ crisis resource management (CRM, メモ1) の実践が現実味を帯び、安全教育の視点からも注目を集めた⁴⁾。

同時に特定の手法に特化した低忠実度モジュール low-fidelity module の開発が進み、気道確保、硬膜外麻酔、超音波ガイド下中心静脈穿刺など、スキル習得に繰り返しの練習が求められる

る手技に対して、有用な教育ツールとして普及している。

さらに近年では、仮想現実 virtual reality (VR) や拡張現実 augmented reality (AR) を活用した没入型シミュレーションが登場し、実環境を高い再現度で模した視覚・空間的体験が実現されている。ユーザーは仮想空間内でインタラクティブに行動し、リアルタイムのフィードバックを得ることができる。さらに、AI によるシナリオ生成や学習者評価の導入も進み、スキルや行動パターンに応じたカスタマイズ教育の可能性が広がっている。

シミュレーション教育と
「人間的要素」

医療の安全性と質の向上が強く求められるなかで、シミュレーション教育は単なる技能訓練にとどまらず、不可欠な教育手段となっている。特に麻酔科は、突発的かつ重篤な状況に即応する力や、チーム医療における的確な判断力と行動力が求められることから、教育・研修の中核を担い、近年は、VR や AR などの技術進歩により、没入感と臨場感を伴う学習環境の実現が進んでいる^{5,6)}。例えば、VR を用いた気道管理トレーニングでは、反復練習の

しやすさや没入体験が、初学者の技能習得を促進するとされている。AR を活用した心肺蘇生トレーニングでは、リアルタイムの視覚的フィードバックを通じて、自己評価と学習改善が可能となる。また、AI を活用して、学習者の行動パターンやスキルレベルに応じてシナリオを自動生成し、フィードバックを行う試みも進められている⁷⁾。これにより、画一的な教育から、個別最適化された学習体験への移行が可能となり、指導者の負担軽減にも寄与することが期待されている。

しかし、どれほど技術が進歩しても、医療現場で生じるエラーの多くが、認知・判断・連携といったノンテクニカルスキルに起因するという現実是不変^{8,9)}。シミュレーション教育の本質は、単に高精度な再現性を追求することではなく、こうした「人間的要素」をいかに教育に組み込み、活用していくにかかっている。

テクノロジー進化のなかで
指導者に求められる
スキルと知識

医療シミュレーション教育の進化は、テクノロジーの発展と密接に関係しているが、高精度な機器やプラットフォームの導入それ自体が、教育効果を保証するわけではない。教育の成否は、それらを活用する指導者のスキルと知識に大きく依存している。

まず、指導者にはテクニカルスキル教育に関する深い理解が求められる。気道管理、超音波ガイド下穿刺といった手技では、シミュレーターやモジュールを用いた段階的な指導が可能である。その際、指導者自身が標準の手順を熟知していることはもちろん、学習

コラム 経絡人形

ペインクリニックや鍼灸院でよく見かける「経絡人形」は文字どおり、体表に経絡や経穴 (ツボ) を示した人形である。そのルーツは非常に古く、前漢時代 (紀元前 206 ~ 8 年) の墓からは、黒漆を塗った体表に赤い線で経絡を描いた木製人形が出土している²⁾。宋の時代 (960 ~ 1279 年) には「鍼灸銅人」 (図 A) と呼ばれる本格的な銅製の経絡人形が登場し、日本には室町時代に伝わった。

この銅人形には全身のツボに小さな穴が開けられている。表面に蠟を塗って穴をわからなくした状態で、目隠しをした学生が管状の針を経絡に打ちこむ。針がうまく穴に入れば、中に仕込まれた袋から水銀が流れ出て「正解」がわかる仕組みで、鍼灸医の試験に用いられた。

これこそ医療シミュレーションの源流と言えるかもしれない。

図 A 鍼灸銅人 (東京国立博物館所蔵)
(画像提供: 旭川医科大学麻酔・蘇生学講座 牧野洋先生)

メモ1

crew から crisis へ

CRM は、航空分野で生まれた crew resource management の概念を医療に応用した危機管理法である。1970 年代、航空事故の約 70% が人的要因に起因するとされた調査を受け、麻酔科を中心に 1970 ~ 80 年代から導入が進められた (Anesthesia Crisis Resource Management, ACRM)¹⁷⁾。

者の習熟度に応じて柔軟に指導を調節する応用力が必要となる。加えて、装置や機器の原理・限界を理解していなければ、誤った学習につながるおそれがある。

さらに重要なのが、ノンテクニカルスキルの教育である¹⁰⁾。ノンテクニ

徹底分析
シリーズ

麻酔とテクノロジー ~ 14a ロダンB (24)

▼表1 シミュレーション教育における指導者に求められる能力
(文献14~16をもとに作成)

- ・高度な臨床知識と手技経験
- ・教育工学に関する理解 (成人学習理論, 学習評価など)
- ・機器・ソフトウェアに対するテクノロジーリテラシー
- ・ファシリテーションとデブリーフィングのスキル
- ・学習環境を安全に保つ心理的安全性 (psychological safety) の構築力

カルスキルには、状況認識 situation awareness、意思決定 decision making、チームワーク teamwork、コミュニケーション communication など、臨床現場で不可欠な行動的・認知的スキルが含まれる。多くの医療事故がこのノンテクニカルスキルの欠如に起因することから、教育現場でもその重要性が高まっている^{11, 12)}。

ノンテクニカルスキルを効果的に指導するためには、シナリオ設計、ファシリテーション、デブリーフィングなどの教育技法が不可欠である¹³⁾。特にデブリーフィングにおいては、単なる振り返りにとどまらず、事実 (what)、感情 (feelings)、考察 (analysis) を引き出す体系的手法が求められる。このプロセスでは、指導者は評価者ではなく、学びを促す「ファシリテーター」としての役割が求められる。

前述したとおり、AI や VR を活用した教育支援ツールの普及により、シナリオの自動生成、行動ログの解析、フィードバックの提供などが可能となりつつある^{14, 15)}。これらの技術を活用するためには、指導者が操作方法だけでなく、評価アルゴリズム、パラメータの意味といったその背後にあるロジックを理解しておく必要がある。

テクノロジーは教育環境の可能性を大きく広げるが、その真価を引き出すのは、あくまで「人」である。シミュ

レーション教育において指導者に求められる能力はますます多様化しており、表1に示すような多面的な知識とスキルが必要とされている^{14~16)}。

実際の
教育応用例

シミュレーション教育の麻酔科領域における代表的な応用例を挙げ、どのような学びを提供しているかを考えてみたい。

HFS を活用した
危機対応トレーニング

麻酔管理中に遭遇し得る、まれだが危機的状況 (例：困難気道、肺塞栓、局所麻酔薬中毒など) への対応を訓練するには、HFS を用いたシナリオ型教育が極めて有効である (図1)。これらの訓練では、単に症状に対応するだけでなく、異常の早期認知、判断の過程、チーム内での指示・情報共有といった行動面が重視される。

例えば「術中の急激な SpO₂ 低下に対して、原因鑑別と対応を数分以内に行う」といった訓練では、単なる数値の変化だけでなく、呼吸音や皮膚所見といった臨床徴候も含めた状況判断が求められる。デブリーフィングでは、行動選択の根拠やチームワークの質を振り返ることで、知識と経験の統合が促進される。

単一スキルモジュールによる
技術習得トレーニング

麻酔科では、気道確保、超音波ガイド下中心静脈穿刺、末梢神経ブロックなど、確実かつ安全な手技が求められる。そのため、個別スキルに特化したモジュールを用いた反復トレーニングが不可欠である。

これらのモジュールは、初学者には操作手順の理解と定着を、中級者には解剖構造の識別や刺入角度の最適化といった段階的な学習支援を行うことができる。例えば、超音波ガイド下穿刺トレーナーでは、異なる血管モデルを用いて、リアルタイムのプロープ操作と穿刺手技の連動をトレーニングできる。

チームトレーニングとCRM

医療事故の多くが、コミュニケーション不全や役割の不明確さに起因していることが知られている。このような背景から、チーム全体の危機管理能力を高める CRM トレーニングの導入が進んでいる。

麻酔科医、外科医、手術室看護師などによる多職種連携のシミュレーショントレーニングでは、「誰が何をすべきか」「どのように情報を正確に伝えるか」「最終判断を誰が行うか」といった実践的な課題に向き合うことができる。このような訓練は、個人のスキル向上のみならず、組織としての安全文化の醸成にもつながると考えられる。

テクノロジー支援型の
新たな教育アプローチ

近年では、e-learning や遠隔シミュレーションといったオンライン要素の導

入も進んでいる。特に COVID-19 以降、録画済みシナリオに対するコメント付けや、web 会議システム (Zoom, Microsoft Teams, Google Meet など) を用いたグループでの振り返りなどが活用され、非接触かつ継続的な教育が可能となっている。

さらに、AI によるシナリオ自動生成や学習者の行動ログ解析といった技術を組み込むことで、教育内容の客観的な可視化と弱点分析が進んでいる。これにより、学習者一人一人に最適化された指導が可能となりつつある。

シミュレーション教育の
今後の展望

シミュレーション教育は、医療の質と安全を支える「戦略的教育基盤」へと進化を遂げつつある。今後は、AI による学習者解析、クラウドベースの遠隔教育に加え、extended reality/cross reality (XR) (メモ2) 技術の応用がますます進むことが予想される。

特に麻酔科領域においては、VR 技術を活用した高度なシナリオ型トレーニングの導入が進んでいる。気道確保、硬膜外麻酔、危機対応など、高度な手技の訓練において、VR は実技実習の新たな選択肢となっている^{18, 19)}。これにより、時間や場所の制約を超えた繰り返し練習が可能となり、学習機会の公平性も向上しつつある。

一方で、没入感や実用性に対して否定的な評価もみられ、学習効果に関する評価基準が曖昧である点も課題となっている¹⁸⁾。今後は、XR の定義や適応範囲、教育効果の測定方法を明確にし、科学的根拠にもとづいた運用が求められる。

▼図1 HFS を用いた危機的状況トレーニング

SimMan 3G Plus™ (レールダール・メディカルジャパン社) を用いた困難気道シナリオトレーニング中の風景。



VR を用いた多職種チームトレーニングの取り組みとして、麻酔科医、外科医、看護師といった職種が同一の仮想空間上で協働し、危機的状況における意思決定、役割分担、コミュニケーションの質を高めることが試みられている²⁰⁾。このような訓練は、実臨床に即した教育効果が期待されるとともに、職種間連携の強化にもつながる。

XR や AI といった技術の導入には、指導者側のリテラシーや教育設計能力が不可欠である。加えて、運用負担や導入コスト、継続的なアップデートの必要性といった実務上の課題も存在する。さらに、どれだけ高精度な仮想環境を構築したとしても、実際の患者を前にした緊張感や、予期せぬ状況に対応する力を完全に再現することは難しい。シミュレーション教育は現実臨床を補完する手段として位置づけられるべきであり、万能ではないという認識が重要である。

麻酔科医は、急性期医療における高い判断力と対応力を備えた専門職であり、

メモ2

さまざまなXR

XR は、VR、AR、複合現実 mixed reality (MR) といった技術の総称である。VR は完全な仮想空間を提供し、AR は現実世界に情報を重ね、MR は現実と仮想が相互作用する環境を作る。これらを教育に応用することで、従来のシミュレーターでは難しかった空間認知やチームダイナミクスの再現、手技の感覚統合などをよりリアルに学ぶことが可能となる。

チーム医療の中心的存在でもある。技術革新を教育に取り入れるにあたっては、単なる「使用者」にとどまらず、学習目標に即したシナリオ設計、評価法の構築、効果的なデブリーフィングを担う「設計者」かつ「教育者」としての関与が求められる。

シミュレーション教育の現場においても、テクノロジーの力を的確に活かしながら、教育の本質を見失うことなく、次の世代へと確かな学びを伝えていくことが求められている。

13a 見出し MB 31

文献 〆 色ペン

1. Safar P, Brown TC, Holtey WJ, et al. Ventilation and circulation with closed-chest cardiac massage in man. JAMA 1961; 176 : 574-6.
2. 梁 永宣. 「黒漆木製経絡人形」の謎. 中医臨 1996; 17 : 350-3.
3. 森田耕司, 三条芳光, 白石義人ほか. ハイテク麻酔を取り巻く麻酔関連機器の習熟. 日臨麻会誌 2004; 24 : 310-12.
4. Issenberg SB, McGaghie W, Hart IR, et al. Simulation technology for health care professional skills training and assessment. JAMA 1999; 282 : 861-6.
5. Mergen M, Graf N, Meyerheim M. Reviewing the current state of virtual reality integration in medical education - a scoping review. BMC Med Educ 2024; 24 : 788.
6. Herur-Raman A, Almeida ND, Greenleaf W, et al. Next-Generation Simulation—Integrating extended reality technology into medical education. Front Virtual Real 2021; 2. <https://doi.org/10.3389/frvir.2021.693399> (2025 年 〇 月 〇 日閲覧)
7. Liu PR, Lu L, Zhang JY, et al. Application of artificial intelligence in medicine : an overview. Curr Med Sci 2021; 41 : 1105-15.
8. Sales E, DiazGranados D, Weaver S, et al. Does team training work? Principles for health care. Acad Emerg Med 2008; 15 : 1002-9.
9. Neily J, Mills P, Young-Xu Y, et al. Association between implementation of a medical team training program and

surgical mortality. JAMA 2010; 304 : 1693-700.

10. Flin R, Patey R, Glavin R, et al. Anaesthetists' non-technical skills. Br J Anaesth 2010; 105 : 38-44.
11. Cooper SJ, Cant RP. Measuring non-technical skills of medical emergency teams : an update on the validity and reliability of the Team Emergency Assessment Measure (TEAM). Resuscitation 2014; 85 : 31-3.
12. Stahel PF, Cobianchi L, Dal Mas F, et al. The role of teamwork and non-technical skills for improving emergency surgical outcomes : an international perspective. Patient Saf Surg 2022; 16 : 8.
13. Garden AL, Le Fevre DM, Waddington HL, et al. Debriefing after simulation-based non-technical skill training in healthcare : a systematic review of effective practice. Anaesth Intensive Care 2015; 43 : 300-8.
14. Elendu C, Amaechi DC, Okatta AU, et al. The impact of simulation-based training in medical education : a review. Medicine (Baltimore) 2024; 103 : e38813.
15. Kolbe M, Eppich W, Rudolph J, et al. Managing psychological safety in debriefings : a dynamic balancing act. BMJ Simul Technol Enhanc Learn 2020; 6 : 164-71.
16. Ahmed RA, Cooper D, Mays CL, et al. Development of a simulation technical competence curriculum for medical simulation fellows. Adv Simul (Lond) 2022; 7 : 24.
17. Lei C, Palm K. Crisis Resource Management Training in Medical Simulation. In : StatPearls [Internet]. Treasure Island : StatPearls Publishing, 2023.
18. Bertolizio G, Huang YT, Garbin M, et al. The use of extended reality in anesthesiology education : a scoping review. Can J Anaesth 2025; 72 : 492-505.
19. Chheang V, Fischer V, Buggenhagen H, et al. Toward interprofessional team training for surgeons and anesthesiologists using virtual reality. Int J Comput Assist Radiol Surg 2020; 15 : 2109-18.
20. Huang VW, Jones CB, Gomez ED. State of the art of virtual reality simulation in anesthesia. Int Anesthesiol Clin 2020; 58 : 31-5.