超音波ガイド下中心静脈バスキュラーアクセス穿刺訓練における シミュレーション医学の応用

鎌田 正¹ 落合 美由希¹ 藤澤 奈央¹ 門屋 佑子¹
富田 真弓¹ 岡村 基弘²
京都市立病院腎臓内科¹ 岡村医院²

キーワード：シミュレーション教育, エコーガイド下中心静脈穿刺, シミュレーター, リフレクション, ポートフォリオ
〈要旨〉

新人医師が安全に超音波ガイド下中心静脈バスキュラーアクセス (VA) 穿刺術を習得するための試みとして, 従来の実践訓練に加えて新たにシミュレーション医学的手法を導入した。【対象】2008年4月~2012年4月の間に当科において初めて超音波ガイド下中心静脈 VA 穿刺を行った卒業後2~4年目の医師 (以下, 研修医師) 10人。【方法】以下の順に指導を行った。1) 指導医による穿刺理論の講義, 2) 実際に指導医が穿刺中の動画 DVD を研修医師に配布し, 繰り返し視聴する。3) 自作シミュレーターと実際に使用するカテーテルキットを用いた穿刺訓練, 4) 指導医の実践を見学後, 患者で指導医とともに VA 穿刺: この際指導医は術者とともに超音波プローブを持ち, 術者に穿刺針の進め方を指示する。手技中の超音波画像は動画で記録する。5) 実践後, 研修医師は指導医と一緒に録画した超音波画像を見ながら振り返り (reflection) を行う。その後, 録画内容は CD-R にして研修医師に渡す。6) 振り返りの内容は研修医師・指導医ともに記録し (portfolio 作製), 時々俯瞰してみる。7) 研修医師が単独で穿刺する。8) 研修医師に感想を聞く。【結果】シミュレーション学習システム導入後, 約25回/年の血液透析用ダブルルーメンカテーテル挿入および約50回/年の長径透析針を用いた大腿静脈反復穿刺法を超音波ガイド下に行ったが, 全例で VA 確保に成功し, 重篤な合併症も認めなかった。研修医師全員が本システムが有用であったと回答し, 指導医の感じるストレスもシステム導入により軽減した。【結論】シミュレーション医学の導入は新人医師の中心静脈 VA 穿刺技術習得における安全性を担保する上で有用と考える。

Simulation program for ultrasound-guided central venous access procedural training

Tadashi Kamata¹, Miyuki Ochiai¹, Nao Fujisawa¹, Yuko Kadoya¹, Mayumi Tomita¹,
and Motohiro Okamura²

Department of Nephrology, Kyoto City Hospital¹; Okamura Clinic²

Key words : simulation education, ultrasound-guided central venous catheterization, simulator, reflection, portfolio
〈Abstract〉

Purpose : To help novice doctors perform ultrasound-guided central venous access insertion, we introduced a novel simulation program. Participants and methods : Between April 2008 and April 2012, 10 novice doctors performed ultrasound-guided central venous access insertion in our nephrology department. The training program was as follows : 1) Lecture on the theory of ultrasound-guided puncture, 2) Repeated watching of an instructional DVD showing an instructor's performance with a patient, 3) Training using a self-made simulator and catheter kit, 4) On-the-job training with the instructor after watching the instructor's performance with patients : the instructor held an ultrasound probe together with the trainee, and directed the trainee on how to proceed for introducing the needle. The ultrasound image was recorded with a digital video recorder. 5) The trainee reflected with the instructor while watching the video after the on-the-job training. The recorded

ultrasound video was given to the trainee as a CD-R. 6) The contents of the reflection were summarized as a portfolio by both the trainee and instructor, which was reviewed later from time to time. 7) The trainee performed the procedure by him or herself. 8) The impressions of the simulation program were obtained by interview. Results : After introducing the program, about 25 double lumen catheter insertions/year and 50 femoral central venous punctures with a long hemodialysis needle/year were all successfully performed under ultrasound guidance without serious complications. All trainees felt that the simulation program had been useful. The instructor's stress was lower than that before introducing the program. Conclusion : Introducing the simulation program was effective to increase the safety in learning the central venous catheter procedure by novice doctors.

緒 言

中心静脈穿刺術において超音波の有用性が認識されるようになり、2011 年版日本透析医学会の「慢性血液透析用バスキュラーアクセスの作製および修復に関するガイドライン」でもダブルルーメンカテーテル留置に際して超音波の使用が推奨されている。一方、超音波ガイド下の中心静脈穿刺が普及するにつれて超音波を使用しても合併症を避け得なかった報告が相次いでおり^{1,2)}、充分に手技に習熟しないまま実践すると従来の方法よりむしろ危険である可能性がある。超音波ガイド下穿刺術は理論の理解と訓練が不可欠であるが、われわれは効率的かつ安全に技術を習得できるように、従来型の実践訓練に加えてシミュレーション医学的手法を導入したのでその概要につき報告する。

I. 対象と方法

研修対象は 2008 年 4 月～2012 年 4 月の間に当科において初めて超音波ガイド下中心静脈バスキュラーアクセス (vascular access : VA) 穿刺を行った卒後 2～4 年目の医師 10 人。そのうち 5 人は腎臓内科を専攻していたが、他の 5 人は他科専攻で研修ローテーション等のため当科研修中であつた。対象医師を以下“研修医師”と呼ぶ。

1. 穿刺理論の講義

当科の超音波ガイド下 VA 穿刺法^{3～6)}の理論について指導医がパソコンのプレゼンテーションソフトを用いて講義を行った。所要時間は約 1 時間。

2. 実際に手技を行っている動画の視聴

指導医が実際の患者で穿刺中の動画を DVD にして研修医師に配布した。動画には市販の動画編集ソフトを用いて超音波画面や解説を組み込んだ (図 1)。

3. シミュレーターによる訓練

Gibson らの報告⁷⁾を参考に超音波シミュレーターを自作した。当科の作成法を簡単に述べる：市販のプラスチック製粘土用ケース (10.5×20.5×4.0 cm) を購

図 1 指導医が実際の症例で穿刺中の動画 DVD 動画・アニメーション・解説が組み込まれている。

入。ケース側面に $\phi 8$ mm の穴を開け、模擬血管として駆血帯を 2～3 本通した。模擬血管の深さは 1～1.5 cm (内頸静脈用) または 3 cm (大腿静脈用) とした。粉末ゼラチン 90 g を熱湯 300 mL に溶解した後、水 600 mL を加える。このうち約 150 mL を別の容器に移し、薄力小麦粉 8 g (内頸静脈用) または 20 g (大腿静脈用) を溶かした後、もとのゼラチン溶液に戻して攪拌する。最後に水切りネットに溶液を通してケースが一杯になるまで流し込み、泡をさじで除去し 4℃で一晩冷やす。駆血帯に水道水を入れ両端を血液浄化回路付属の使い捨てプラスチック製鉗子でクランプした。訓練には実際の穿刺で使用する超音波装置 (iLook25, SonoSite 社) を用いた。使用後シミュレーターは冷蔵庫 (4℃) で次の使用まで保存した。

穿刺ガイド具を使わずに穿刺針先端の超音波短軸像を描出する方法の注意点として、慣れないうちは穿刺中に超音波画面に注意が集中すると穿刺角度が変わってきてしまうことがあるため、まず実際に使用する穿刺針を使い、手元を見なくても常に穿刺角がほぼ 45° となるようにスポンジを使って針の持ち方・進め方を訓練した⁸⁾。その後、プローブを持つ手と穿刺針を持つ手の coordination の訓練として、シミュレーターの模擬血管のない部位に穿刺し、穿刺針先端短軸像を描出し、針先エコーパターンが消えないように保ちなが

図 2 シミュレーターを使った穿刺訓練

- A：左右の手の coordination 訓練。針先のエコー像（矢印）を保ちながら、画面中央の穿刺補助点線（矢頭）に沿って針先を進める。図のようにプローブの角度を保って平行移動する走査法と、プローブとシミュレーターの接点を固定してプローブを倒していく走査法の 2 通りを練習する。
- B：内頸静脈を想定したシミュレーターにおける穿刺針短軸先端像（矢印）。意識的に時々プローブを先行させて針先の像を消すことで針先であることを確認しながら模擬血管前壁中央部に針先を進める。
- C：模擬血管内に針先が到達した後の穿刺針長軸像。短軸像からプローブを 90 度回転させたら、まずプローブと穿刺針と視線を一致させ、その後に画面を見てプローブを微調整すると描出しやすい。矢印は針先。長軸像を描出することで外筒先端が血管内に入ったかどうか確認できる。
- D：大腿静脈を想定したシミュレーターにおける穿刺針短軸像。シミュレーターの輝度を高めて鼠径部の輝度に近づけているため、音響陰影（矢印）を利用した穿刺法の訓練に適している。実践で使用する 16 ゲージ・外筒長 75 mm の透析長針を使用する。至適な穿刺針の把持法は術者の手の大きさ・穿刺針の長さにより異なる。

ら徐々に穿刺針を進めた（図 2 A）。次にわれわれが報告した方法に基づき³⁾、目標血管前壁中央部に向かって針先を誘導する訓練を行った（図 2B）。また模擬血管内に到達後、穿刺針の長軸像を描出した（図 2C）。大腿静脈反復穿刺法⁵⁾のシミュレーションも実際に使用する血液透析用 16 ゲージ長針を用い、穿刺針下方に生ずる音響陰影を利用して模擬血管前壁まで針先を誘導する練習を行った（図 2D）。

ガイドワイヤー挿入からカテーテル固定までの手技についてはスポンジをシミュレーターとして手順を学習した。この際、実際に使用するダブルルーメンカテーテルキットを用いた（図 3）。

内頸静脈穿刺時にガイドワイヤーが正しく静脈内に留置されていることを超音波で判断するためには、頸部の解剖に熟知する必要がある⁶⁾。この訓練として、臥位の状態で鎖骨上窩に超音波プローブをあてて腕頭静脈・鎖骨下動脈を描出するシミュレーションを同僚医師あるいは自分自身をモデルとして行った。

図 3 ガイドワイヤー・カテーテル操作の訓練
スポンジをテープで机に固定した簡易シミュレーター

4. 指導医と一緒に実践（on-the-job training）

指導医単独で手技を施行する症例を見学後、研修医師と指導医が実際の症例で内頸静脈または大腿静脈穿刺を行った。その際、研修医師がプローブと穿刺針を持つが、指導医も同時にプローブを持つ（図 4）。プ

図 4 実際の症例で中心静脈穿刺施行する際の超音波プローブ把持法のイメージ

A：研修医師 B：指導医

プローブの走査は基本的に指導医が行い、研修医師はプローブの動きを体感する。穿刺針は指導医の指示に従って研修医師が2～3 mm ずつ進めた。手技中の超音波画像は市販の録画機（DVR-2100, アジアコープインターナショナルリミテッド社）を超音波装置のビデオ出力端子に接続して動画として記録した。原則として実践前日あるいは実践直前にはウォーミングアップとしてシミュレーションを行った上で実践に臨んだ。

5. 振り返り（reflection）

患者での手技終了後、施行当日中に研修医師と指導医で記録した超音波画像の動画を見ながら、良かった点・悪かった点や次回いかにフィードバックするかについてディスカッションを行った。その後、動画はCD-R にして研修医師に渡し、単独でさらに振り返りがしやすいようにした。

6. 振り返りの内容の記録（portfolio 作製）

研修医師・指導医が各々 reflection の内容を記録し、時系列に沿って保存した。形式は紙でもデジタルファイルでもどちらでも可としたが、前者の場合は一つのファイルに閉じることで一元的に管理し、次の実践の直前に容易に復習できるようにした。後者の場合は印刷して俯瞰しやすいようにした。

7. 研修医師への感想の聞き取り調査

当科での研修を終える時に研修医師にシミュレーション学習システムについての感想の聞き取り調査を行った。

II. 結 果

手技模範を示すため一部の症例は指導医が単独で手技を施行したが、基本的に研修医師が順番に指導医同席の下施行した。2008 年 4 月から 2012 年 4 月にかけて約 25 回/年の血液透析用ダブルルーメンカテーテル留置および約 50 回/年の長径透析針を用いた大腿静脈反復穿刺を超音波ガイド下に行ったが、全例で VA 確保に成功し、重篤な合併症も認めなかった。研修医師の感想は全員が当科のシミュレーション学習システムを有用と感じたとの回答であった。個別の感想としては、“針先がわかるので安心”、“訓練により穿刺角度が安定した”、“実践する前に器材に慣れているので良い”、“初めての実践手技で成功し達成感が得られた”といった肯定的なものがほとんどであったが、“シミュレーターがもっとリアルだといい”といった意見もあった。指導医側も、手技実践の場で最も重要な超音波プローブ走査が自分のコントロール下にあるため、ブラインドで穿刺を行っていた頃に比較すると安心して指導できた。また、複数の研修医師が同じ技術的問題を繰り返す現象がみられた。具体例として“内筒・外筒部の境界（術者に近い方）がわかりにくい穿刺針を使用する際、内筒を抜去しようとして誤って内筒とシリンジを分離してしまう”、“カテーテルを挿入する際に内部のスタイレットが緩んでずれているのに気づかないため、カテーテルの挿入抵抗が大きくなり挿入できない”、“カテーテル挿入後スタイレットを抜去してインナーカテーテルを挿入する際に、止血のためカテーテルを指で圧迫して閉鎖すべき部位を間違え不要な失血をする”などである。これらに対しては実践前に指導医が各研修医師の portfolio を確認することで要注意の手技ステップがあらかじめわかるため、指導医のストレスが軽減された。また、同じ問題が繰り返される場合は研修医師が手技直前に portfolio の見直しやシミュレーターでウォーミングアップをしていない場合にみられたが、同時に使用器材の構造上の問題であることもあり、器材の製造元に改善の要望を出すことで対応を得られたケースもあった。

III. 考 察

わが国でもシミュレーション学習法は運輸会社・金融会社・電力会社・軍事関係などでは当然の存在となっているが、医療への導入については救急・看護領域ではかなり進んできているものの、医師教育の観点から

はまだ充分とはいえない。その理由の一つに、多忙な指導医が教育に労力を費やしても病院経営サイドから評価されないことが多いことがあげられよう。当科では年間約 25 回の透析用ダブルルーメンカテーテル留置手技を施行しているが、手技を行うのは医師 3~4 人である。したがって医師 1 人あたり約 1.5~2 か月に 1 回の施行頻度となる。当科で行っている超音波ガイド下穿刺ではプローブを積極的に走査して針先位置を特定するため^{3~5)}、虚脱した中心静脈や深部末梢静脈でも確実な穿刺が可能であるが、その習得には一定の訓練を要する。ふだんから何らかのトレーニングをしなければ研修医師のスキルアップはおろか指導医のスキル維持すら困難なことから、必要に迫られる形でシミュレーション学習システムを導入した。また、超音波ガイド下穿刺は従来の方法に比べて患者側の条件による影響が少ないためシミュレーション訓練に適している。

マルチメディアの活用・シミュレーター訓練・実践訓練・reflection・portfolio を骨子とした当科の中心静脈 VA 穿刺シミュレーションシステムを図 5 にまとめた。まず講義であるが、研修医師がスムーズにトレーニングに入れるように穿刺理論を中心にアニメーションや動画を多用した講義を指導医がプレゼンテーションソフトを用いて行っている。また、指導医が穿刺実践中の動画を DVD にして研修医師に渡すことで、多忙な研修医師が空いた時間にいつでも、繰り返し学習ができるよう配慮した。次にシミュレーターでの訓練であるが、当科ではシミュレーターを自作している。市販の超音波シミュレーターも利用可能であるが、非常に高価である上に耐久性に乏しく、熱心に練習すると水漏れし、刺入痕と穿刺針のエコー像との区別がつきにくくなるため短期間で使用不能となる。その点、われわれの作製している超音波シミュレーターは実時間 10 分で作り直すことができ、使用後 4℃で保存すれば最長 1 週間程度使用可能でランニングコスト的に有利である。研修医師からもっとリアルなシミュレーターを要望する声もあったが、模擬血管の弾性など改良の余地はあるものの自作シミュレーターは hand-eye coordination の基礎訓練用として極めて有効である。高価なシミュレーターが安価なものより必ずしも優れているとは限らないことは Alessi の論文⁹⁾や、各地の医学部のスキルスラボ（臨床技能研修室）においてハイテクシミュレーターが倉庫で埃をかぶっていることからわかる。自作シミュレーターにはソーセージ¹⁰⁾やゲル状の掃除用具¹¹⁾を使用した報告もあるが、当科のものは小麦粉の量を増減することでエ

図 5 穿刺トレーニング概要

初めは上記実線矢印のステップを繰り返し、一定のレベルに到達したら単独で実施し（破線矢印）、その後もシミュレーションで skill 維持と skill up を図る。

コー輝度を変えることができるため、内頸静脈や大腿静脈などそれぞれの状況設定に応じた調整が可能である。また、当初超音波ガイド手技のみをシミュレーション訓練していたが、使い捨て式インナーカテーテルを持つ特殊な透析用ダブルルーメンカテーテルを採用していることも影響して、研修医師が実践の場で超音波ガイド以外のステップでつまづくことが多発した。このためガイドワイヤーやダイレーター・カテーテル本体の操作もシミュレーターで訓練を行うようにしたところ、改善がみられた。シミュレーターはスポンジを机に固定しただけの極めて簡易なものではあるが、実際に使用するカテーテルキットを用いていつでも繰り返し練習することができるため、留置手順が身につく、カテーテルキット固有の構造上の“癖”も理解できる。実践直前のウォーミングアップとしても有用である。また、血液透析用ダブルルーメンカテーテルは穿刺針とダイレーターの直径の差が一般のカテーテルに比べて大きいため、ダイレーター挿入前に超音波で正しくガイドワイヤーが静脈内に留置されていることを確認することが安全上重要と考えられる⁶⁾。ガイドワイヤー位置確認の成否は患者側の血管の視認性の影響を受けるため、シミュレーターではなく、自分あるいは同僚医師の頸部の血管系を描出し解剖に慣れしておくようにした。

生体組織はエコー輝度が比較的不均一のため、均一なエコー輝度を持つシミュレーターよりも穿刺針先端の視認性が不良である。さらに、呼吸とともに形を変え、穿刺針を刺入しようとする容易に虚脱する中心静脈の前壁のみを穿刺する感覚は市販のシミュレーターでも再現が困難であり、実践で養う必要がある。

このため、シミュレーターで基礎技術を固め、指導医の実践を見学した後、実際の症例で指導医とともに手技の施行 (on-the-job training) に臨む。Kahol ら¹²⁾はベテラン外科医でも腹腔鏡手術の前に 15 分シミュレーターでウォーミングアップすると効果があると報告しており、当科でも時間的に余裕があれば実践直前に改めてシミュレーションを行うよう指導している。

On-the-job training では超音波ガイド下穿刺の際に最も難しいプローブの走査を指導医がリードし、最も重要な情報である超音波画像を研修医師・指導医が共有するため、その安全性は高い。研修医師の技術向上にあわせて指導医がプローブ走査アシストをウィーニングすることで、研修医師の単独施行へのスムーズな移行が可能であった。超音波画面は安価な市販のデジタルビデオ録画機で記録し、実践後の reflection 時に供覧することで学習効果を高めている。Reflection とは 1930 年代に米国の思想家 John Dewey によって提唱された成人教育理論で、“振り返り”や“省察”と訳される。学習者が行動の結果について主体的に考える学習法であり、単なる成功体験の反復という受動型学習とは一線を画している。Kolb¹³⁾はさらに“経験→振り返り→概念化→実践→経験→…”という終わりのない経験学習モデルを提唱した (図 6)。Portfolio とは“振り返りを通して獲得した学習成果をみることが出来る記録集”であり、1990 年代後半にわが国に導入され、現在では小学校教育から大学院教育まで浸透している¹⁴⁾。Portfolio の内容は文字情報・図・写真・動画などさまざまな形式が可能だが、バラバラではなく一元化して保存しておくことが重要であり、時々俯瞰してみることで Kolb のモデルの“概念化”が促進される。その際、portfolio のうち重要なものを抽出してまとめておく (凝縮ポートフォリオ¹⁵⁾)、実践の直前に見直しやすい。On-the-job training で明らかになった自己の課題に対してさらにシミュレーションによる学習を積むという反復は非常に有効であるが、長期間実践する機会がない場合はシミュレーションにより技術を維持する必要がある。Stefanidis ら¹⁶⁾は腹腔鏡のシミュレーションを 3 か月ごとに行うことで技術レベルが維持できると報告したが、彼らは最終評価をシミュレーターで行っている。極めてストレスの高い実践の場で侵襲的手技をスムーズに遂行するには、より頻繁にシミュレーション訓練を行う方が望ましいと思われる。

シミュレーション訓練において“研修医師が安全に VA 穿刺を実践できたか?”という点は重要なアウトカムであり、その評価のためにはランダム化比較試験

図 6 Kolb の経験学習モデル¹³⁾

経験をさまざまな観点から内省し (振り返り)、そこで得られた気づきを基に他の状況でも応用できるような独自の理論を構築し (概念化)、その理論を新たな状況で試行する (実践)。そこで得られた経験をさらに振り返る……というサイクルを回すことで、経験が知識に変換される。

が望ましい。われわれはそうした評価法を行っておらず、本研究の限界ともいえるが、最近 Cook らはメタ解析でシミュレーション訓練の有効性を示し、“もはやシミュレーションの有効性を示す研究よりも、いつ・いかにコスト面も含めて効率的にシミュレーション訓練を行うべきかを明らかにする研究の方が重要である”と述べている¹⁷⁾。研修医師をシミュレーション訓練したグループとしないグループに分けて穿刺成功率や合併症発生率を比較することは医療安全に対する要求の高まりの中、倫理的な問題も危惧される。既述したごとく、研修医師や指導医の印象は概ね良好であり、シミュレーション学習システム導入後に透析 VA 穿刺において重篤な合併症を認めていないことから、本システムの有効性が示唆される。日本透析医学会雑誌データベースで技能的なシミュレーション学習に関する報告を検索したが学会発表のみであり、論文では該当するものはなかった。当科で研修した医師には他院に赴任後に超音波穿刺の指導的立場になっている医師もあり、われわれの試みを報告することは意義あるものと考えた。また当科での中心静脈穿刺の実践は卒後 2 年目以降に行っているが、これは当院内の規定に従ったものであり 1 年目の施行も可能と考える。

危険を伴う侵襲的な手技を安全に行うアプローチとしては、シミュレーション学習システムの構築以外に、専任医師のみが集中して行うというものがある。実際に血液透析用カテーテル留置を麻酔科が行っている施設もあり、安全性・効率上のメリットがあるが、24 時間常にカテーテル留置を請け負ってくれる医師が身近にいるとは限らない。一方、新規にシステムを立ち上

げる場合には、確かな知識・技術を持ったインストラクターが必須である。まずインストラクター役になる医師を決め、シミュレーション学習法や学会・企業主催のハンズオン・セミナーを利用しながら習熟するまで手技を専任的に行い、その後インストラクターが他の医師を指導すること（いわゆる屋根瓦方式）が現実的と思われる。

結 語

成人学習の専門家である Donald Schön は、“真の professional というのは、reflection しながら自分の到達課題に向かって成長し続ける人である”と述べている¹⁸⁾。透析医療の技能習得において、実践訓練とシミュレーション医学的手法を組み合わせた学習法は reflection を支援するツールとして極めて有用と思われる。

本論文の要旨は第 57 回日本透析医学会総会にて発表した。

文献

- 1) 楠本 剛, 岩下耕平, 比嘉裕樹, 香取 清, 仁田原慶一, 比嘉和夫: 超音波ガイド下の内頸静脈穿刺での合併症 3 症例の報告. 麻酔 58: 760-761, 2009
- 2) Blaivas M: Video analysis of accidental arterial cannulation with dynamic ultrasound guidance for central venous access. J Ultrasound Med 28: 1239-1244, 2009
- 3) 鎌田 正, 落合美由希, 藤澤奈央, 門屋佑子, 八城正知: 超音波ガイド下血管穿刺における穿刺針先端描出法の検討. 京都市立病院紀要 30(2): 16-20, 2010
- 4) 鎌田 正, 落合美由希, 大崎啓介, 藤澤奈央, 門屋佑子, 八城正知: 新たな血液透析返血経路としての超音波ガイド下 brachial vein 穿刺法の検討. 透析会誌 44: 237-243, 2011
- 5) 鎌田 正, 朱 星華, 落合美由希, 藤澤奈央, 門屋佑子, 八城正知: 超音波ガイド下到大腿静脈反復穿刺を
行い血液浄化法を施行した 16 例の検討. 透析会誌 45: 241-246, 2012
- 6) 鎌田 正, 落合美由希, 藤澤奈央, 門屋佑子: 超音波ガイド下内頸静脈ダブルルーメンカテーテル挿入時におけるガイドワイヤー視認性の検討. 透析会誌 45: 475-482, 2012
- 7) Gibson RN, Gibson KI: A home-made phantom for learning ultrasound-guided invasive techniques. Australas Radiol 39: 356-357, 1995
- 8) 浅尾高行: 超音波ガイド下中心静脈カテーテル挿入トレーニング. p33-34, 中外医学社, 東京, 2011
- 9) Alessi S: Fidelity in the design of instructional simulations. J Comput-Base Instr 15: 40-47, 1988
- 10) Wells M, Goldstein L, The polony phantom: A cost-effective aid for teaching emergency ultrasound procedures. Int J Emerg Med 3: 115-118, 2010
- 11) 浅尾高行: 超音波ガイド下中心静脈カテーテル挿入トレーニング. p133, 中外医学社, 東京, 2011
- 12) Kahol K, Satava RM, Ferrara J, Smith ML: Effect of short-term pretrial practice on surgical proficiency in simulated environments: a randomized trial of the “preoperative warm-up” effect. J Am Coll Surg 208: 255-268, 2009
- 13) Kolb DA: Experiential Learning: Experience as the Source of Learning and Development. p20-34, Prentice Hall PTR, New Jersey, 1984
- 14) 岡田 満: 医学教育におけるポートフォリオ. 近畿大医誌 35: 77-82, 2010
- 15) 鈴木敏恵: ポートフォリオとプロジェクト学習. p11, 医学書院, 東京, 2010
- 16) Stefanidis D, Korndorffer JR Jr, Markley S, Sierra R, Scott DJ: Proficiency maintenance: impact of ongoing simulator training on laparoscopic skill retention. J Am Coll Surg 202: 599-603, 2006
- 17) Cook DA, Hatala R, Brydges R, Zendejas B, Szostek JH, Wang AT, Erwin PJ, Hamstra SJ: Technology-enhanced simulation for health professions education: a systematic review and meta-analysis. JAMA 306: 978-988, 2011
- 18) 藤崎和彦: シミュレーション医学教育入門. p8, 篠原出版新社, 東京, 2011