

脳動脈瘤コイル塞栓術における コンピューターシミュレーター(VIST)を用いた技能分析

入江恵子¹⁾ 中居康展²⁾ 中原一郎³⁾ 廣瀬雄一¹⁾ 根来 真⁴⁾

Assessing endovascular skills using the vascular interventional simulation trainer (VIST) for testing and rating coil embolization of cerebral aneurysm

Keiko IRIE¹⁾ Yasunobu NAKAI²⁾ Ichiro NAKAHARA³⁾ Yuichi HIROSE¹⁾ Makoto NEGORO⁴⁾

- 1) Department of Neurosurgery, Fujita Health University
 2) Department of Neurosurgery, Tsukuba University
 3) Department of Neurosurgery, Kokura Memorial Hospital
 4) Department of Neurosurgery, Ichinomiya-Nishi Hospital

●Abstract●

Objective: The applicability of virtual reality (VR) simulation to objective assessment of endovascular skills has been suggested. The aim of this study was to assess the role of a virtual reality simulator of interventional vascular procedures (VIST; Vascular Interventional Simulation Trainer, Mentice Corporation, Gothenburg, Sweden) in the assessment of endovascular skills required for coil embolization of cerebral aneurysms.

Methods: A study was conducted in 22 trainees with various levels of expertise in basilar tip aneurysm treatment. They were divided into two groups according to experience with the coil embolization procedure either as operators or assistants: <20 cases (beginners, n=12) and >21 cases (non-beginners, n=10). Quantitative (procedure and fluoroscopy time) and qualitative (VER%) parameters were recorded and assessed by the simulator.

Results: The total procedure and fluoroscopy time and average contrast media usage were the same in both groups. The VER was more than 40% in non-beginners and less than 40% in beginners, indicating that the beginners were inexperienced in performing the coil deployment procedure.

Conclusion: The structured assessment correlates well with the assessment using the high-fidelity simulator. In addition to improving endovascular training, the simulators may help determine the procedural competency and credentialing standards for endovascular surgeons.

●Key Words●

cerebral aneurysm, coil embolization, computer simulation

1) 藤田保健衛生大学医学部 脳神経外科

(Received November 29, 2011 : Accepted October 6, 2012)

2) 筑波大学医学部 脳神経外科

3) 小倉記念病院 脳神経外科

4) 一宮西病院脳神経外科 血管内治療センター

<連絡先: 入江恵子 〒470-1192 愛知県豊明市沓掛町田楽ヶ窪 1-98 E-mail: kirie@fujita-hu.ac.jp >

緒言

脳血管内治療における種々のデバイスの著しい進歩により、脳神経外科領域における血管内治療の適応は増えてきている。急性期破裂脳動脈瘤においては、ISAT (International Subarachnoid Hemorrhage Aneurysm

Trial)¹⁰⁾ の報告以降、破裂脳動脈瘤に対してコイル塞栓術が第1選択の治療法として行われる機会が増えている。しかし、脳動脈瘤の診断に関しては、3次元CTなどの低侵襲診断が普及し¹¹⁾、脳血管撮影が行われる機会が少なくなっているのが現状である。したがって、日常診療において脳血管撮影の手技の習得が困難である場



Fig. 1 The Procedius Vascular Interventional System Trainer virtual reality simulator (Metric Corporation, Gothenburg, Sweden).

合が多い。さらに、脳動脈瘤塞栓術においては、一部の施設を除いて限られた症例数の中でトレーニングが行われている場合が多く、目覚ましく進歩する脳血管内治療手技の習得に苦慮する場合が多い。これらの現状を踏まえ、脳動脈瘤塞栓術の治療の安全性を高めるためにハンズオントレーニングが活発に行われている。

近年では、優れた3次元画像の開発により、高性能なコンピューターシミュレーション機器が開発され^{1,2,4)}、外科領域における様々なトレーニングに用いられている^{5,6,7,8)}。脳血管内治療領域においても、学会にあわせて種々のシミュレーターを用いたハンズオンが行われるようになっており、受講者が客観的に個人の手技のスキルを判断できるようになっている。このような観点に基づき、コンピューターシミュレーターであるVIST (Vascular Interventional Simulation Trainer, Mentice Corporation Sweden) (Fig. 1) を用いて脳動脈瘤コイル塞栓術のハンズオンを行い、種々のパラメーターを主に検討したので報告する。

対象および方法

VIST を用いてハンズオンを行った22名の医師を対象とした。内訳は脳神経外科専門医21名、初期研修医1名、脳神経血管内治療専門医18名であった。ハンズオン前に、1) 脳神経血管内治療の経験年数、2) 脳神経血管内治療経験症例数(助手を含む)、3) 脳動脈瘤塞栓術の経験症例数(助手を含む)に関するアンケート調査を行った。また、データー解析に関して全ての受講者より承諾を得た。セミナーでは基本手技トレーニングコースとしてVIST内に組み込まれている脳底動脈先端部動

脈瘤(大きさ6mm、頸部の広さ3mm)を用いた(Fig. 2)。

VISTを用いたシミュレーションの方法

1) VISTの構造

VISTは血管内治療専用のコンピューターシミュレーターである。コンピューター内に組み込まれている画像は実症例を用いて作成されているので、大腿動脈、腹部大動脈、大動脈弓、冠動脈、頸動脈、頭蓋内外の動脈の構造はヒトの解剖に忠実に再現されている。VISTはヒトの体に似せて作成した容器と、左右の2つのスクリーンモニターで構成されている。左側のモニターは使用するデバイス(カテーテル、ガイドワイヤー、コイル)の選択の入力画面に用い、右側モニターは治療手技の観察のために用いられる。シミュレーション手技の開始前に、左側のモニター上で使用するカテーテルやガイドワイヤーの太さ、長さや先端形状をあらかじめ選択して入力する。次に、本体の大腿部に留置されたシースを介して、カテーテルおよびガイドワイヤーを誘導すると、前もって選択したカテーテルやガイドワイヤーの先端の形状や太さが右側モニターに再現される。また、フットペダルを用いて透視画像が観察でき、専用シリンジを用いて造影剤の代わりに一定量の空気を注入することで仮想3次元血管撮影やロードマップ画像の作成も可能である。

シミュレーター用に開発された専用シリンジでは造影剤の代わりに空気が注入される。この空気注入により、取り付けられているトランスデューサーセンサーを通してピストンのストロークやタイミングなどがリアルタイムに計測、術者の注入した造影剂量やそのタイミングなどのパラメーターがデーターとしてシミュレーターに記

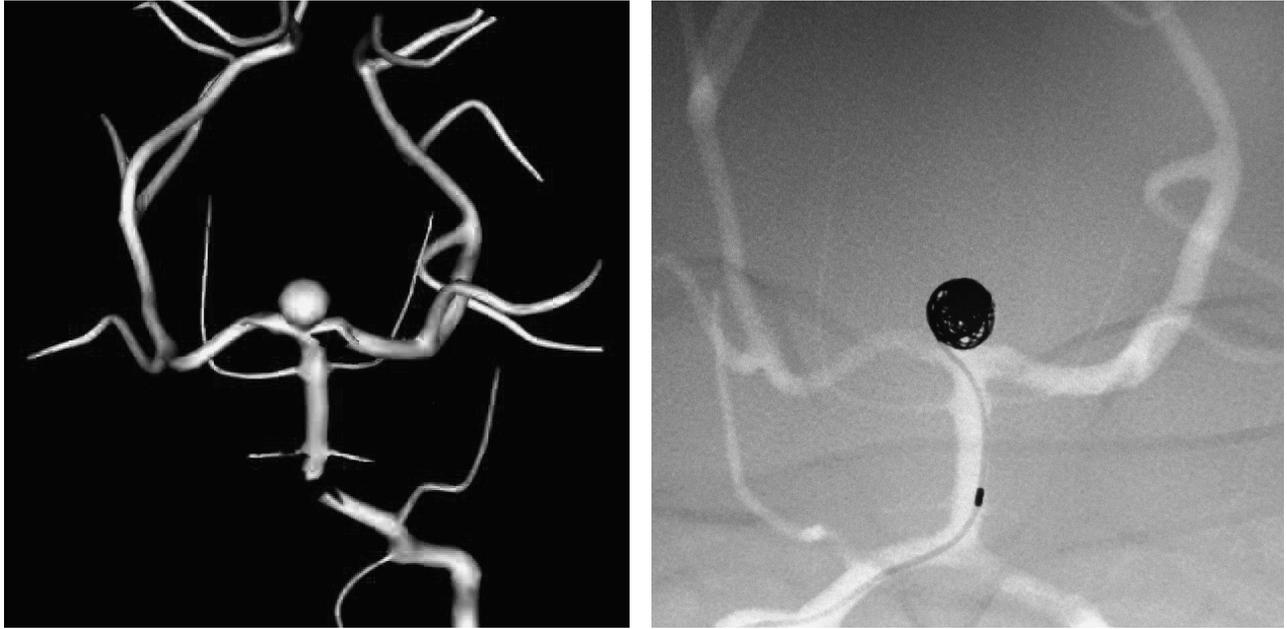


Fig. 2 Simulated digital subtraction angiography of a basilar tip aneurysm. The microcatheter was introduced into the aneurysm under roadmap image guidance.

憶され、使用した仮定の造影剤量が計測される。

2) VIST を用いた脳動脈瘤コイル塞栓術の実際

VIST 内のソフトウェアには、実症例をもとにして作成した 13 例の脳動脈瘤が入力されている。各症例で動脈瘤の大きさと頸部の広さが異なる。コイル塞栓術シミュレーション開始前に、まず、左モニターに呈示された 13 例の中から同一の 1 例を選択する。次に、使用するデバイス（ガイディングカテーテル、マイクロカテーテル、ガイドワイヤー）を画面上で選択する。経大腿動脈で内頸動脈もしくは椎骨動脈にガイディングカテーテルを誘導する。一定の空気を注入して脳血管撮影を行い、C アームを回転させ脳動脈瘤塞栓術用のワーキングアングルを決定する。次に、使用するマイクロカテーテルならびにマイクロガイドワイヤーの先端形状を選択して入力し、ロードマップ画像下で仮想マイクロカテーテルを瘤内に留置する。次に、左側のモニター画面で、framing コイルの大きさ（18 または 10 サイズ）と長さ（Helical または Complex）を選択する。実際にプラチナコイルは用いず、コンピューターが 0.014 マイクロガイドワイヤーを仮想コイルとして認識することによりコイル塞栓術のシミュレーションを行う。framing, filling, finishing coil を選びながら塞栓術を行い、終了時にエアーを用いて造影を行い、良好な塞栓状態が得られているかどうか検討する。

以上のシミュレーション手技がすべて終了した時点で、各受講者別にコンピューター内に組み込まれているパラメーターとして 1) 全手技に必要とした時間（total time）、2) 使用造影剤量（total amount of contrast used）、3) 全透視時間（total fluoroscopic time）、4) 使用コイル数、5) 塞栓率（VER）% をデータ保存した。

結果

脳神経血管内治療の経験年数は、0～5 年が 17 名、6～10 年が 5 名で、脳神経血管内治療経験数（助手も含む）は、0～50 例が 10 名、51～100 例が 7 名、101 例以上が 5 名であった。さらに、脳動脈瘤塞栓術の経験症例数（助手も含む）は、0～20 例が 12 名、21～50 例が 9 名、51～100 例が 1 名であった（Table 1）。塞栓術に必要とした時間は 19～64 分（平均 36.6 分）、使用造影剤量は 14.8～87.9 mL（平均 40.0 mL）、使用コイル数 3～10 本（平均 8 本）、塞栓率（VER%）26.7～54.6%（平均 42.7%）であった。脳動脈瘤塞栓術の治療経験数が A 群 20 例以下の 12 名と B 群 21 例以上の 10 名を各パラメーターで比較すると、全手技に必要とした平均時間は A 群 34.4 分、B 群 39.7 分、使用造影剤量の平均は A 群 41.8 mL、B 群 43.2 mL、平均全透視時間は A 群 24.9 分、B 群 27.8 分で平均使用コイル数は、A 群 7 本、B 群 10 本で、平均塞栓率（VER%）は A 群 36.4%、B 群 47.0%（ $p \leq$

0.01)であった (Table 2). 脳動脈瘤塞栓術の経験症例数と終了時の塞栓率の関係は、経験症例数が21例以上の受講者は、終了時の塞栓率が40%以上であったが、20例以下では40%以上が2名で他の10名は40%以下であった (Fig. 3). 特に矢印に示すように30%以下であった2名は日常診療における脳動脈瘤塞栓術未経験者

Table 1 Correlation of the amount of experience in neuroendovascular therapy with the number of trainees.

脳神経血管内治療の経験年数 (y)	受講者数 (n)
0~5	17
6~10	5
脳神経血管内治療の経験数 (n)	
0~50	10
51~100	7
>101	5
脳動脈瘤塞栓術の経験数 (n)	
0~20	12
21~50	9
51~100	1

であった. 以上のように, VISTを用いたハンズオンでは, 実症例における脳動脈瘤コイル塞栓術の経験数が多いほど, コンピューター上のコイル塞栓率が高い傾向が認められた.

考察

脳神経外科領域における脳血管内治療の適応疾患の増加に伴い, 脳神経外科医が日常診療において血管内治療を行う機会が増えている. 脳動脈瘤塞栓術を安全に行うために, 術者はいろいろな器材の使用法や手技を習得しておく必要がある. しかし, 施設間において治療症例数が異なり, さらに近年では低侵襲な診断方法である3次元CT検査などの普及により, カテーテル手技を行う機会は著しく減少している.

脳動脈瘤塞栓術におけるハンズオントレーニングは, 初期はガラス管で作成した板状の動脈瘤を用いていたが, 軽量でどこにでも持ち運び可能である反面, 3次元シミュレーショントレーニングは不可能である. そ

Table 2 Correlation of coil embolization treatment with several parameters.

	Group A <20 cases (n=12)	Group B >21 cases (n=10)	p value
全手技に必要とした時間 (min)	39.7	34.4	n.s.
造影剤使用量の平均値 (mL)	43.2	41.8	n.s.
全透視時間平均値 (min)	27.8	24.9	n.s.
使用コイル数の平均値	10	7	n.s.
塞栓率 (VER) %の平均値	36.4	47.0	≤0.01

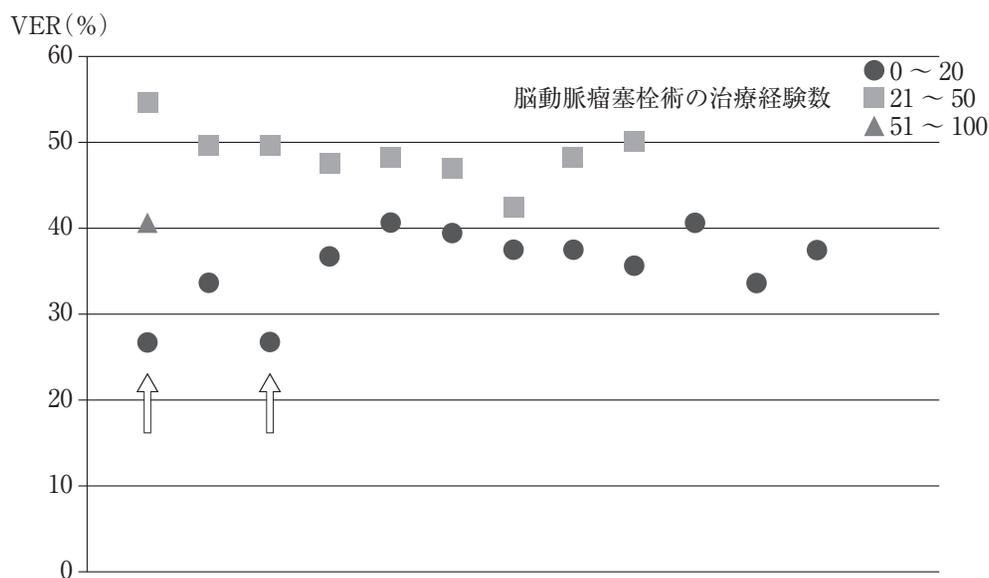


Fig. 3 Correlation of the amount of experience in coil embolization with VER%.

ここで、患者個々の3次元画像をもとに血管解剖や弾性を人体血管に類似したシリコンで作製したEVE (Endovascular Evaluator, ファインバイオメディカル社)が開発された。EVEは、拍動ポンプを接続することにより人体同様の血圧を維持でき、カテーテルやガイドワイヤーさらにコイルの動きをより正確にシミュレーションできる利点を有している。実際に血管撮影室で透視下におけるシミュレーショントレーニングも可能である。

さて、1990年ごろよりカテーテルやガイドワイヤーの性能を検討するために種々のコンピューターシミュレーターが開発された^{1,2,3,4)}。本研究で用いたVISTは血管内治療専用の全身血管コンピューターシミュレーターである。脳動脈瘤コイル塞栓術を含め、頸動脈、冠動脈、腸骨動脈、腎動脈、下肢動脈狭窄症に対するステント留置術のシミュレーショントレーニングが可能である。組み込まれたデータは実症例の画像をもとにして作られており、画面上のカテーテルやガイドワイヤーの動きや、カテーテルが血管壁に与えたわずかな抵抗、さらにマイクロカテーテルが瘤内に充填されたコイルによりキックバックされる現象も再現されている。フットペダルを操作することで仮想3次元画像や仮想ロードマップ画像を作成でき、放射線被爆を受けることなく納得いくまでトレーニングできる利点を有している。また、最近ではステント支援コイル塞栓術のソフトも開発されている。

VISTを用いた血管内治療手技のシミュレーショントレーニングの有用性も報告されている¹⁹⁾。Aggarwal¹⁾らは、20名の受講者を対象とし、大動脈や頸動脈ステント留置術の治療経験数が50例以上(n=8)のexperienced operatorsと10例以下(n=12)のinexperienced operatorsの2グループに分類した。これらすべての受講者に対して腎動脈狭窄症に対する血管形成術とステント留置術を行い、6つのパラメーターを用いて技能分析を行った。本報告では、シミュレーショントレーニング開始当初は、全手技時間と使用造影剤量がinexperienced operatorsで多い傾向を示したが、トレーニングを続けることにより、最終的には全手技時間の短縮や使用造影剤量の軽減を認め、血管内治療手技のスキルが向上したと報告している。

今回のシミュレーションハンズオンにおいては、受講者のアンケート調査により、助手も含めて脳動脈瘤塞栓術の治療経験数が20例以下(n=12)A群と21例以上(n=10)B群に分類した。今回用いた6つの技能分析の

パラメーターの中で、全手技時間、使用造影剤量、透視時間および使用コイル数は両群の間で差は認めなかったが、コイル塞栓手技終了時の平均の塞栓率(VER)は、B群で40%以上であったがA群では40%以下で、塞栓術の治療経験数が多いほど、最終的に良好なVERが得られる傾向が認められた。特に、Fig. 3の矢印に示すように、VERが30%以下であった受講者はいずれも脳動脈瘤塞栓術の未経験者であった。

今回は、学会期間の限られた時間内でのシミュレーショントレーニングであったため、各受講者に与えられた時間が短く、繰り返し行うことによる手技のスキルアップを判定することは困難であった。しかし、受講後のアンケート調査ではこのようなシミュレーショントレーニングの満足度は非常に高く、VISTをはじめとする高性能なシミュレーターを用いてトレーニングを行うことにより、各自のスキルの判定のみでなく、繰り返し行うことにより実症例における治療の安全性の向上に繋がることも期待できる。

本論文に関して、開示すべき利益相反状態は存在しない。

文 献

- 1) Aggarwal R, Black SA, Hance JR, et al: Virtual reality simulation training can improve inexperienced surgeons' endovascular skills. *Eur J Vasc Endovasc Surg* 31:588-593, 2006.
- 2) Chaer RA, Derubertis BG, Lin SC, et al: Simulation improves resident performance in catheter-based intervention: results of a randomized, controlled study. *Ann Surg* 244:343-352, 2006.
- 3) Dankelman J, Wentink M, Grimbergen CA, et al: Does virtual reality training make sense in interventional radiology? Training skill-, rule-, and knowledge-based behavior. *Cardiovasc Intervent Radiol* 27:417-421, 2004.
- 4) Dayal R, Faries PL, Lin SC, et al: Computer simulation as a component of catheter-based training. *J Vasc Surg* 40:1112-1117, 2004.
- 5) Gallagher AG, Cates CU: Virtual reality training for the operating room and cardiac catheterisation laboratory. *Lancet* 364:1538-1540, 2004.
- 6) Grantcharov TP, Kristiansen VB, Bendix J, et al: Randomized clinical trial of virtual reality simulation for laparoscopic skills training. *Br J Surg* 91:146-150, 2004.
- 7) Jacomides L, Ogan K, Cadeddu JA, et al: Use of a virtual reality simulator for ureteroscopy training. *J Urol* 171:320-323, 2004.
- 8) Klein LW: Computerized patient simulation to train the next generation of interventional cardiologists can virtual reality take the place of real life? *Catheter*

- Cardiovasc Interv* 51:528, 2000.
- 9) Patel AD, Gallagher AG, Nicholson WJ, et al: Learning curves and reliability measures for virtual reality simulation in the performance assessment of carotid angiography. *J Am Coll Cardiol* 47:1796-1802, 2006.
- 10) Molyneux A, Kerr R, Stratton I, et al: International subarachnoid aneurysmal trial (ISAT) of neurosurgical clipping versus endovascular coiling in 2143 patients with ruptured intracranial aneurysms: a randomized trial. *Lancet* 360:1267-1274, 2002.
- 11) Sakamoto S, Kiura Y, Shibukawa M, et al: Subtracted 3D CT angiography for evaluation of internal carotid artery aneurysms: comparison with conventional digital subtraction angiography. *AJNR* 27:1332-1337, 2006.

JNET 6:252-257, 2012

要 旨

【目的】 ISAT (International Subarachnoid Hemorrhage Aneurysm Trial) の報告以降、破裂脳動脈瘤に対してコイル塞栓術が第1選択の治療法として行われる機会が増えている。しかし、脳動脈瘤の診断は、3次元画像診断を主とした低侵襲診断が普及し、脳血管撮影を行う機会が減少している。また、脳動脈瘤コイル塞栓術は、施設によって治療症例数が異なり、治療の安全性を高めるためにも off the job のトレーニングが不可欠である。近年、高度のコンピューターシミュレーターが開発され、臨場感あふれるシミュレーションが可能になっている。そこで、脳動脈瘤コイル塞栓術においてコンピューターシミュレーター-VIST (Vascular Interventional Simulation Trainer, Mentice Corporation Sweden) を用いてハンズオントレーニングを行い、実際の血管内治療の経験と技能判定の各種パラメーターとの関係を検討した。**【対象および方法】** VIST を用いたハンズオンを受講した22名を対象とした。コンピューター内に組み込まれている脳底動脈先端部動脈瘤を用い、コイル塞栓術を行った。技能判定のパラメーターとして、1) 全手技に必要な時間、2) 使用造影剤量、3) 全透視時間、4) 使用コイル数、5) 塞栓率 (VER) % を検討した。日常診療における脳動脈瘤塞栓術の治療経験数が A 群 20 例以下の 12 名と B 群 21 例以上の 10 名に分類し、パラメーターをもとに両群を比較検討した。**【結果】** 平均塞栓率は A 群 36.4%、B 群 47.0% ($p \leq 0.01$) であり、日常診療における脳動脈瘤塞栓術の治療経験数が多いほど VIST で良好な塞栓率 (VER) % が得られる傾向が認められた。**【結論および考察】** 実臨床での経験数が多いことがシミュレーターにおいて VER 高値として反映された。脳動脈瘤コイル塞栓術におけるコンピューターシミュレーター (VIST) を用いたハンズオンは受講者のスキルを判定できるだけでなく、繰り返し行うことより実症例における手技の向上にも繋がることを期待できる。