Learning curve からみた，微小血管吻合術の習熟 —顕微鏡下手術初心者への訓練目標設定の試み—

菊池 文平，柿沼 健一，佐藤 圭輔，渡邊 秀明

Learning Curve for Microvascular Anastomosis with the Silicone Tube Training Model: An Attempt to Set Training Goals for Young Neurosurgeons

Bumpei KIKUCHI, M.D., Ph.D., Kenichi KAKINUMA, M.D., Ph.D., Keisuke SATO, M.D., and Hideaki WATANABE, M.D., Ph.D.

Department of Neurosurgery, Cerebrovascular Center, Niigata Rosai Hospital, Niigata, Japan

Summary: Microvascular anastomosis is a very important technique for cerebrovascular surgeons, and although it is not frequently used, technical failure is unacceptable because of the high risk of morbidity. Therefore, training using simulation models is essential. However, the required training volume has not been fully clarified in previous reports. Hence, determining the minimum training volume required before performing actual bypass surgery may contribute to more efficient training of young neurosurgeons, enabling them to attain technical expertise in a shorter period.

The author instructed young residents (postgraduate years 2-3) in microvascular anastomosis with the silicone tube training model. The time required to complete one stitch was measured, and these data were used to generate and study the residents' learning curves.

All of our residents achieved a dramatic improvement in dexterity after the initial thirty trials, and the time required to complete one stitch progressively decreased thereafter.

Based on the author's training record and the actual time required for suturing a STA-MCA bypass, the goal to be attained on the silicone tube model was calculated to be 1.10 minutes for one stitch. It was presumed that all trainees would attain this goal after 200 to 300 trials.

Thus, it is possible for a young neurosurgeon with limited training to acquire the technical skills for microvascular anastomosis within 3 to 6 months with appropriate instruction and continuous training.

Key words:

- surgery
- training model
- silicone tube
- anastomosis
- learning curve

Surg Cereb Stroke
(Jpn) 44: 113-117, 2016

はじめに

微小血管吻合術は脳血管外科医にとって重要な手技であるが，症例数が限られるにもかかわらず失敗が許されない厳しい現実があり⁹⁾¹²⁾¹⁶⁾，トレーニングモデルを用いた練習が必須である¹⁾³⁾⁻⁷⁾¹⁰⁾¹³⁾¹⁵⁾¹⁷⁾¹⁸⁾。しかしながら，これまで

に示されている具体的な練習量は経験的な数値と思われるものが多く，中には膨大な練習量を要求する報告もあり⁵⁾⁷⁾，実現可能かつ少なくとも必要な練習量を明らかにすることは，効率のよい手術手技継承のために有用である。

学習曲線 (learning curve) は行動科学の分野において， y を反応時間， x を練習量， a ， b を task の難易度と実行

Fig. 1 A typical learning curve is shown with the time required to perform a simple task (y) plotted against training volume (x). Coefficients (a, b) depend on each trainee's skill.

Fig. 2 A learning curve plotted on a logarithmic scale showing that the time required to perform a task gets shorter with practice.

者の能力によって変化する係数とすると、次の累乗式(1)が普遍的に成り立つとされている¹⁴⁾。

$$y = ax^{-b} \cdots \text{式(1)}$$

この式より描かれたグラフ(**Fig. 1**)から明らかなように、任意の task の練習効果は訓練初期において非常に高いことがわかる。さらに、x 軸を対数目盛に変換(**Fig. 2**)すれば反応時間の短縮は鈍化する一方で、練習を積み重ねれば確実に手技は向上することが読み取れる。a, -b の値はそれぞれ y 軸との切片と直線の傾きになる。すなわち、a は task の難易度が高くなるほど増加し、b は学習効果が高いほど増加する。x が増加すれば必ず y は減少するため、1 つの task に対する各訓練者の a, b が明らかとなれば将来的な練習効果を推定することが可能となる。

本研究の目的は、筆者と若手医師 4 名の微小血管吻合練習記録より算出した learning curve から、顕微鏡下手術の経験の乏しい術者が十分な訓練成果を獲得できるようになる練習量を求めることである。

対象と方法

微小血管吻合練習の模擬血管として、長さ 3.5 cm、太さ 1.0 mm のシリコンチューブが縦・横・左右斜めの 4 方向に各 6 本、計 24 本固定された血管吻合練習カード(MP カード、村中医療器、大阪)を選択した¹⁰⁾¹⁸⁾。このシリコンチューブの端側吻合を卓上実体顕微鏡(Leica S6E-MMI)下に、ピンセット(No. 0: 115 mm, No. 5: 110 mm)またはマイクロ鑷子(直: 120 mm, フジタ医科器械、東京)を用い、10-0 ナイロンにて 8-12 針で行った。各方向の訓練を満遍なく行い、吻合操作に要した時間と針数を記

録し、これから 1 針あたりの所要時間を算出した。筆者は、上記の方法で 30 本の練習を行って以降、手術と練習を並行しながら、虚血性脳血管障害 33 症例 43 本の superficial temporal artery-middle cerebral artery (STA-MCA) 吻合術および 1 例の occipital artery-posterior inferior cerebellar artery (OA-PICA) 吻合術を執刀した。バイパス血管の開存率は 44 本中 42 本(95.5%)であり、全症例で良好な転帰を得た。

実際の手術においては、遮断クリップの操作や動脈切開、色素の塗布などの時間が加わるため、当然 1 針あたりの所要時間は練習のときよりも手術のときのほうが長くなる。筆者の場合、訓練本数 120 本の時点で練習中の 1 針あたりの所要時間は 1.50 分となり、この頃には手術における遮断時間が 35 分以内(10-14 針)となった。さらに訓練を続け、練習本数 300 本の時点で練習中の 1 針あたりの所要時間は 1.10 分となり、この頃には手術における遮断時間が安定して 20-30 分(10-14 針)であった。これらの結果から、訓練における 1 針あたりの所要時間の初期目標を 1.50 分、中期目標を 1.10 分として設定した。

さらに、当科で研修した前期研修医 3 名を含む卒後 4 年以内の顕微鏡下手術経験の乏しい若手医師 4 名に、手術用顕微鏡下に血管吻合法を指導(**Fig. 3**)後、卓上顕微鏡を貸与し、同条件で 2 カ月間に 30 本以上の目標練習量を課した。彼らの 1 針あたりの所要時間から learning curve を求め、その累乗近似曲線の a, b 値を算出した。

結 果

若手医師 4 名は、2 カ月間で 31-111 本(62 ± 35 本)の練習を遂行した。全訓練者で吻合操作に要した時間、1 針あたりの所要時間は練習本数の増加に従って 30 本以内に急速に短縮した(**Fig. 4**)。その learning curve は、累乗近似

曲線に高い相関性を示した(相関係数 $83.7 \pm 6.3\%$).

learning curve の累乗近似式における a, b は, 訓練者 ABCD でそれぞれ $a=6.26, 7.45, 8.12, 5.62$: 平均 6.86 ± 1.13 , $b=0.319, 0.315, 0.380, 0.303$: 平均 0.329 ± 0.035 であった(**Table 1**). a は初めて練習した際の 1 針あたりの所要時間を示しており, b は学習効果を示している. つまり, 各訓練者の生来の器用さが a に反映される一方で, 学習効果はいずれも高く, 全訓練者でほぼ一定しており, 練習により急速な所要時間の短縮を獲得していた.

こうして求めた各訓練者の累乗近似式から, 将来的な練習効果を推定することができる. すなわち, 1 針あたりの所要時間が 1.50 分となる練習本数は, 若手医師 ABCD でそれぞれ 88 本, 161 本, 85 本, 78 本: 平均 103 ± 39 本であった. さらに, 一段階上の指標である 1 針あたりの所要時間 1.10 分を獲得できるであろう推定練習本数は, 累乗近似式より若手医師 ABCD でそれぞれ 230 本, 428 本, 191 本, 215 本: 平均 266 ± 109 本であった.

以上の結果より, 手術経験の浅い若手医師でも, 適切な指導の後にシリコンチューブによる端側吻合練習を初期目標として 2 カ月間で 60-100 本, 中期目標としては 200-300 本行うことで, 顕微鏡下手術操作の大幅な向上が期待できることが明らかとなった.

考 察

off-the-job training の環境と, 血管モデルは, ①手術との対等性, ②費用対効果, ③準備の簡便性(≒継続性)のバランスで選ぶ必要があり, MP カードなどの安価なシリコ

ンチューブが最適であると筆者は考えている.

手術用顕微鏡の操作に習熟する目的で, 手術室での練習を推奨する報告¹⁸⁾もあるが, 練習前後の準備と片づけに少なからず時間を要するため, 訓練の継続性を妨げる可能性がある. 継続性は, 数十本数百本の練習を積み重ねていく必要のある初心者にとって最も重要な点であり, 諸家の報告⁶⁾にもあるように, 筆者も卓上顕微鏡の簡便性と優越性を支持している. さらにいえば, 個人の卓上顕微鏡を所有

Fig. 3 The first guidance for a young trainee under the surgical microscope.

Table 1 Coefficients of the learning curves for four residents denoted as A, B, C, and D. Coefficients (a, b) depend on each trainee's skill

	A	B	C	D	Average	SD
a	6.26	7.45	8.12	5.62	6.86	1.13
b	0.319	0.315	0.380	0.303	0.329	0.035

SD: standard deviation

することが最も望ましい。

微小血管吻合練習は、顕微鏡手術全般に必要な技術の基礎形成に確実に貢献する⁵⁾¹⁷⁾。本研究において若手医師4名の learning curve がきわめて近接した事実から、吻合操作の習熟は適切な訓練を積むことによって達成され、各個人の器用さの差を大きくしのごことが明らかとなった。そして適切な指導を受ければ、約30本の練習でも急速に技術は向上し、200-300本の練習で顕微鏡下におけるさらに高い段階の技能を獲得できるものと考えられた。

印東ら⁵⁾は顕微鏡下吻合練習の最終目的を「目と手の協調性および両上肢から手先の脱力」の獲得と述べている。本研究に参加した若手医師らは練習開始のごく初期には10-0の針をピンセットで強く把持しすぎるために針を曲げる、針を飛ばして紛失する、糸を強く引きすぎて切るといった事象が共通してみられた。しかし、これらの初歩的なミスは、30本の訓練後には激減しており、これだけの本数でも相当な「脱力」を習得してくるものと考えられた。

もちろん、早さ²⁾だけでなく、血管の愛護的操作¹³⁾、donorもrecipientも均等かつ小さなbiteで血管壁に垂直に針をかけて縫合面を外反させてあわせること、stay sutureとの距離に応じた針間隔、順目に正しく縛ること¹¹⁾などにも細心の注意を払って練習を行い、随時 supervisorの指導を仰ぐ必要がある。糸を縛るタイミング(1本ずつか、片面すべてに糸を通してからまとめて縛るか)や、針の抜き方(donorとrecipientを同時に通すか、針をdonorに通したのちいったん抜いて持ち直してからrecipientに刺し直すか)などについては各施設どころか指導者ごとに「作法」があり、混乱の一因になりやすいが、筆者は術者個人が納得できる方法を選択すればよいものと考えている。

実際の手術においては、髄液排除や開頭野の広さ、recipientの位置によって深度が大きく変わる可能性があり、ある程度練習を積んだ時点で深度負荷をかけて訓練すべきである。Leica卓上顕微鏡の底板を外すと3.3cmの深度負荷をかけられ、working spaceも実際の手術に類似しており、最適である(Fig. 5)。

バイパス術の成否が吻合操作自体に大きく依存していることは論を待たないが、実際の手術においては遮断時間以

Fig. 5 A deeper training field is set by removing the floor plate of a desk-type microscope.

外にもSTAの採取や血液の流入が吻合操作を妨げたりしないようにする「場」の作成⁸⁾、donorを絞扼しないよう工夫した開閉頭法など多くのpitfallが存在する。これらの吻合操作以外のpitfallはoff-the-job trainingが行えず、実際の手術にかかわらなければ習得は難しい。このためには、吻合操作に習熟した後に、指導者とともにバイパス術に携わり、適切なfeedbackを受けることができれば、学習効果の飛躍的向上が期待できる。

結 語

シリコンチューブを用いた微小血管吻合術トレーニングで普遍的な learning curve に従う訓練効果が得られた。supervisorの指導のもと、初心者が目標にすべき練習量は200-300本である。特に練習初期においては、まず、2カ月間で60-100本の訓練を達成することが推奨される。

謝 辞

4年半にわたり手術のご指導をいただきました新潟労災病院副院長柿沼健一先生、貴重な訓練データを提供してくれた佐藤圭輔先生、横浜市立大学研修医の3名(萩原伸哉先生、根路銘千尋先生、高寺睦美先生)に心より感謝いたします。

文 献

- 1) Hino A: Training in microvascular surgery using a chicken

- wing artery. *Neurosurgery* 52: 1495-1497, 2003
- 2) Horn P, Scharf J, Peña-Tapia P, *et al*: Risk of intraoperative ischemia due to temporary vessel occlusion during standard extracranial-intracranial arterial bypass surgery. *J Neurosurg* 108: 464-469, 2008
 - 3) 宝金清博, 上山博康: 脳血行再建術, 中外医学社, 東京, 2000
 - 4) Hui KC, Zhang F, Shaw WW, *et al*: Learning curve of microvascular venous anastomosis: a never ending struggle? *Microsurgery* 20: 22-24, 2000
 - 5) 印東雅大, 堤 一生, 安達 忍, ほか: 手術初心者によるガーゼおよびチューブを用いた手術訓練の血行再建術における効能. 脳卒中の外科 39: 169-174, 2011
 - 6) Inoue T, Tsutsumi K, Adachi S, *et al*: Effectiveness of suturing training with 10-0 nylon under fixed and maximum magnification ($\times 20$) using desk type microscope. *Surg Neurol* 66: 183-187, 2006
 - 7) 井上智弘, 國井尚人, 熊切 敦, ほか: 脳卒中外科手術技量の継承における卓上型マイクロによる縫合練習の役割—8万針の効果. 脳卒中の外科 37: 247-252, 2009
 - 8) 石川達哉, 師井淳太, 玉川紀之, ほか: 練習できないバイパス手術のコツ—上手な「場」の作成やその他のトラブルシューティング. 脳卒中の外科 38: 77-82, 2010
 - 9) 石川達哉, 数又 研, 中山若樹, ほか: 脳動脈瘤手術の expert を育てる教育はどのようにするか. 脳卒中の外科 35: 364-369, 2007
 - 10) Matsumura N, Hayashi N, Hamada H, *et al*: A newly designed training tool for microvascular anastomosis techniques: Microvascular Practice Card. *Surg Neurol* 71: 616-620, 2009
 - 11) 大里俊明: STA-MCA bypass 術—ルーキーのそのまたちょっと前の先生たちに捧げるちょっとしたコツ. 脳外速報 22: 512-526, 2012
 - 12) Powers WJ, Clarke WR, Grubb RL Jr, *et al*: Extracranial-Intracranial bypass surgery for stroke prevention in hemodynamic cerebral ischemia. The Carotid Occlusion Surgery Study randomized trial. *JAMA* 306: 1983-92, 2011
 - 13) Price J, Naik J, Boodhwani M, *et al*: A randomized evaluation of simulation training on performance of vascular anastomosis on a high-fidelity in vivo mode: the role of deliberate practice. *J Thorac Cardiovasc Surg* 142: 496-503, 2011
 - 14) Ritter FE, Schooler LJ: The learning curve. International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences. Elsevier Science, Amsterdam, 2002, pp8602-8605
 - 15) 齊藤寛浩, 佐藤 章, 森川栄治, ほか: 当院における若手脳外科医のためのマイクロ練習プログラム. 脳卒中の外科 36: 118-124, 2008
 - 16) The EC/IC Bypass Study Group: Failure of extracranial-intracranial arterial bypass to reduce the risk of ischemic stroke. Results of an international randomized trial, *N Engl J Med* 313: 1191-1200, 1985
 - 17) 堤 一生: 私の手術教育—初心者指導の経験から. 脳卒中の外科 35: 361-363, 2007
 - 18) 浦西龍之介, 鄭 倫成, 杉本 正, ほか: バイパス術を中心とした顕微鏡下手術トレーニング. 脳卒中の外科 38: 153-157, 2010