

冠動脈バイパストレーニングシステムを使用して

*¹東京女子医科大学心臓血管外科,

*²東京女子医科大学・早稲田大学共同大学院先端生命医科学専攻, イービーエム株式会社

津久井 宏行*¹, 朴 栄光*²

Hiroyuki TSUKUI, Young Kwang PARK



1. はじめに

虚血性心疾患に対する外科的治療である冠動脈バイパス術 (coronary artery bypass grafting: CABG) は, coronary intervention の出現により症例数が減少傾向にあるが, 現在でもその有用性は, Syntax Trial¹⁾ 等でも示されており, 心臓外科医にとっては, 習得すべき基本的手術術式と言える。CABG は, 最近10年余りで飛躍的進歩を遂げ, 体外循環を使用しないCABG (off pump CABG: OPCAB) が飛躍的に増加した。日本胸部外科学会によると, 2007年に日本国内で17,295例の単独CABGが施行され, そのうち10,979例 (63.5%) がOPCABにより施行されている²⁾。OPCABの有用性は, 高齢者, 低心機能, 脳血管障害, 末梢血管障害, 肝不全, 出血性疾患, 閉塞性肺疾患, 腎機能不全, 上行大動脈の高度石灰化を伴った症例において示されているが^{3)~7)}, 心停止下に行うconventional CABGと比較すると, 技術的難易度が高く, その成績は術者によるところが大きいのも事実である。

我が国の心臓外科医のトレーニング環境は, 決して恵まれたものとは言えない。アメリカでは, 年間17万例弱の単独CABGが施行されるのに対して, 日本では1.8万例弱である。そのため, 心臓外科医1人当たりが執刀する手術数は極めて少なく, 技術の維持・向上を目指すのが難しい環境である。その上, 高齢化, 合併症の多様化に伴い, 現在の開心術の難易度は, 10年前とは比較にならないほど上昇しており, 特に若い心臓外科医がトレーニングの機会を得ることが難しくなっている。2003年に日本胸部外科学会

が行った調査によると, 研修開始後10年目までにCABGの執刀経験がない心臓外科医は77%に上り, OPCABに至っては, 84%が執刀経験を有さないことが明らかになった。外科医の技術向上のために, 患者をトレーニング材料とすることは, 医学的にも, 倫理的にも許容されるものではなく, 外科医のトレーニング環境を改善する必要であることは自明の理である。

2. BEATとの出会い

上述のような状況を鑑みると, 手術室外でのトレーニング環境が必要である。筆者は, 米国留学中 (University of Pittsburgh Medical Center) に, カフェテリアなどで使用される紙ナプキンを用いて吻合の練習を行っていた。ある時, 早稲田大学の梅津光生先生がPittsburghを訪問された際, その練習風景をご覧になり, OPCABトレーニングシステム“BEAT”を紹介していただく幸運に恵まれた。その後, BEATの開発者である東京女子医科大学・早稲田大学共同大学院先端生命医科学専攻の朴栄光氏とめぐりあい, 開発のお手伝いを始めることとなった。

BEATを実際に使用してみると, 何よりも冠動脈とバイパス用の血管に見立てた装置であることが, 今までの練習環境とは大きく異なっていた。病変部位に見立てた血管モデルを切開し, 実際に吻合するのは新鮮な体験であった。しかしながら, その時点での血管モデルは, お世辞にも完成度の高いものではなく, 7-0縫合糸を刺入後, 糸を引くだけで破れてしまうような代物であった。朴氏は, 筆者が勤務していたUniversity of Pittsburgh Medical Center Passavantを幾度となく訪れ, 実際の手術を見学しては改良点を見出し, 次回の渡米までには改良された試作品を持ち込むという地道な作業が続いた。そのたびに, 検証を行い, 徐々にその完成度は上がっていった。

■ 著者連絡先

東京女子医科大学心臓血管外科
(〒162-8666 東京都新宿区河田町8-1)
E-mail. htsukui@wf7.so-net.ne.jp

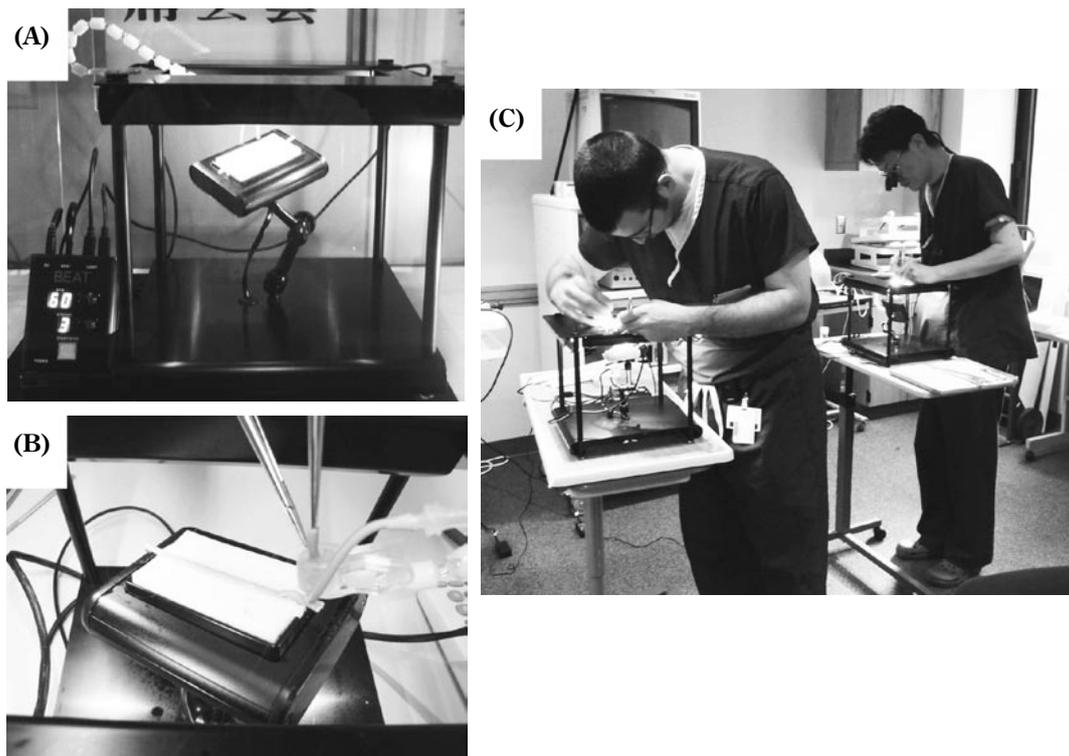


図1 冠動脈吻合訓練装置を用いたDry Labトレーニング

- (A) スタビライザー装着時の拍動を再現したoff-pump coronary artery bypass手術訓練装置：BEAT
 (B) 縫合針による引裂き強度が調整された高分子製血管モデル：YOUCAN
 (C) 米国Pittsburgh大学において正式に導入されたBEATを用い吻合訓練を行う心臓外科レジデント

3. BEATの特徴

BEATの特徴は、「いつでも、どこでも、何度でも」CABGの練習が可能であることである。今までは、手術室のみでしかトレーニングの機会がなかったが、それを手術室外に持ち出した意義は非常に大きいと言えよう。最近、Wet Labにて、動物の心臓を用いた手術トレーニングが盛んに行われるようになった。Wet Labで使用される心臓はヒトの心臓に近似しているため、非常に有用であるが、汎用性や経済性、動物愛護の観点からは、必ずしも適切なトレーニング方法とは言えない。一方、BEATはDry Labであるため、こういった問題を解決することが可能となった。

BEATは、心臓の拍動を再現するために形状記憶合金(人工筋肉)をアクチュエータとして採用しており、実際の心筋と同様の滑らかな拍動を再現できる。従来のシミュレータではバルーンと一体化した心臓模型を空気で膨張、収縮して拍動を再現するため、騒音が臨場感を阻害していたが、BEATは完全に無音である。また、装置のdetailに注目すると、機能が優れていることに気付かされる。一つは、人間の胸部を模型化したそのデザインにある(図1)。特に上部は開閉が可能であり、狭いポートからのアクセスの練

習も可能となっている。照明には、最先端のLED(light-emitting diode)を使用し、OPCABトレーニング中の照度や散乱が最適に設計されている。また、分解すれば全てのパーツがA4のブリーフケースに収まり、工具・説明書なしでも5分程で、誰にでも簡単に組み立てることができるため、どこへでも気軽に持って行ける。

吻合部位に関しては、実際のCABGのあらゆるsituationも再現できるように、高さ、角度が自由に設定できる(図2)。また、OPCABの状況を模した可動部位は、1分当たりの振動回数、振動の程度などが、手元のコントローラで調整可能である。そのため、難易度の低い症例から、高い症例まで自由自在に再現できる。しかし、血管モデルを含む“YOUCAN(ヨウカン)”の改良も決して一筋縄ではなかった。血管モデルの作製に当たっては、太さや柔軟性などの調整が難しく、3,000個以上の試作品が作られた。通常の手術では、吻合後、確認カテーテルで吻合のqualityを判定するが、BEATを使用した場合には、その場でモデルを分解して狭窄の有無を確認したり、漏れ試験、耐圧試験を行うことも可能である(図3)。現在、早稲田大学外科技能研修室(室長：朴栄光)とEBM(株)では、更なる手技評価を実現するため、吻合血管の内腔形状の3次元計測や、吻合

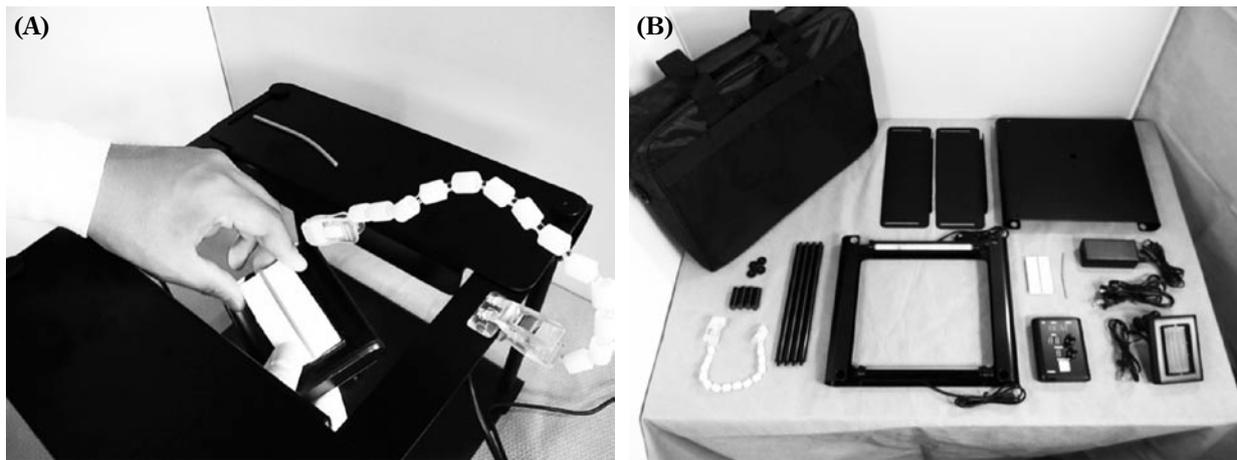


図2 BEAT組立時と分解時

(A) BEATの拍動部分にYOUCANを取付け、血管位置を調整している様子。血管位置を調整するフレキシブルジョイントは、3つの関節を1つのねじで同時に固定できるため、tangible (直感的) な位置調整ができる。
 (B) BEATを構成する部品は全てA4ブリーフケースに収まる設計となっている。

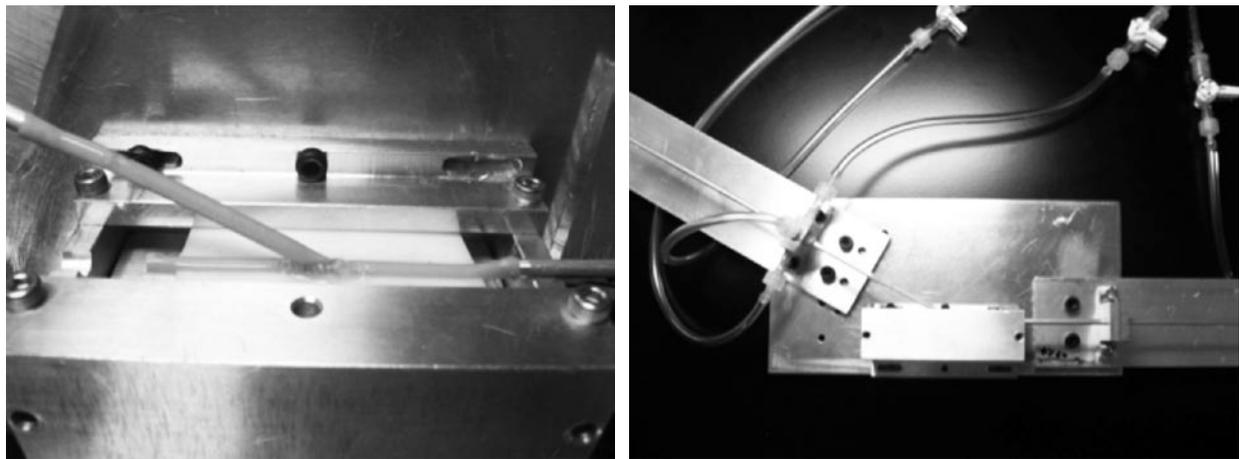


図3 吻合後の圧力損失評価の様子

吻合済みYOUCANを固定具に接続し、吻合部近傍の圧力損失を定量評価している様子。

部流れの可視化、CFD (computer fluid dynamics) に取り組んでいる。本トレーニングシステムでは、個体差を有する生体でのトレーニングと異なり、術者が数多くの吻合を同じ条件で経験することが可能なため、上達具合をいつでも確認でき、自分の弱点を発見しやすいことも大きな利点と考えられる。

2010年7月29日～30日に大阪で開催された第15回日本冠動脈外科学会では、日本全国から34名の若手心臓外科医が参集し、BEATを使用した、大々的なOPCAB技術コンテストが催された。会場は、OPCAB技術向上を目指す若手外科医が集まり、非常に熱気を帯びたものであった。6名の審査員による多角的な審査により、優勝者が決定された。また、高速度カメラによる吻合方法の検証もなされ、

CABGの運針がいかに奥深いものであるかが、実感された。こういった医学と工学の結びつき (医工連携) が引き起こすinnovationによる利点は、従来は経験と勘により行われ、技術の伝承は「盗んで覚えろ」と言われていた外科手技を科学的に分析し、具体的に改善すべき点を明確にできる点にある。研修当初より、難易度の高い症例 (高齢者、合併症、OPCABの標準化) で技術の向上を目指さなければならない日本の心臓外科医にとって、BEATのようなトレーニングシステムの存在は、今後、欠かすことのできないものになると言えよう。

4. おわりに

BEATは、2009年、2010年ともに The Society of Thoracic

Surgeons (STS) Annual MeetingでSTS Universityで採用され、多くの外科医、レジデントに好評を得た。今後もこうしたトレーニングシステムを活用した手術トレーニングが行われる機会は増えていくであろう。また、今後は、トレーニングシステムを利用することにより、専門医習得や維持のための点数獲得が可能となる仕組みを作るなどして、その有効活用が可能であると考えられた⁸⁾。

文 献

- 1) Serruys PW, Morice MC, Kappetein AP, et al; SYNTAX Investigators: Percutaneous coronary intervention versus coronary-artery bypass grafting for severe coronary artery disease. *N Engl J Med* **360**: 961-72, 2009
- 2) Committee for Scientific Affairs, Ueda Y, Fujii Y: Thoracic and cardiovascular surgery in Japan during 2007. Annual report by the Japanese Association for Thoracic Surgery. *Gen Thorac Cardiovasc Surg* **57**: 488-513, 2009
- 3) Ricci M, Karamanoukian HL, Abraham R, et al: Stroke in octogenarians undergoing coronary artery surgery with and without cardiopulmonary bypass. *Ann Thorac Surg* **69**: 1471-5, 2000
- 4) Stamou SC, Dangas G, Dullum MK, et al: Beating heart surgery in octogenarians: perioperative outcome and comparison with younger age groups. *Ann Thorac Surg* **69**: 1140-5, 2000
- 5) Koutlas TC, Elbeery JR, Williams JM, et al: Myocardial revascularization in the elderly using beating heart coronary artery bypass surgery. *Ann Thorac Surg* **69**: 1042-7, 2000
- 6) Trehan N, Mishra M, Kasliwal RR, et al: Surgical strategies in patients at high risk for stroke undergoing coronary artery bypass grafting. *Ann Thorac Surg* **70**: 1037-45, 2000
- 7) Stamou SC, Corso PJ: Coronary revascularization without cardiopulmonary bypass in high-risk patients: a route to the future. *Ann Thorac Surg* **71**: 1056-61, 2001
- 8) Park YK, Mita Y, Oki E, et al: Quantitative evaluation for anastomotic technique of coronary artery bypass grafting by using in-vitro mock circulatory system. *Conf Proc IEEE Eng Med Biol Soc* **2007**: 2705-8, 2007