



Training von Mikrogefässanastomosen an Polyurethangefässen zur Reduktion von Tierversuchen

Sonja A. Meier¹, Axel Lang² und Gertrude M. Beer¹

¹Klinik für Wiederherstellungschirurgie, Departement Chirurgie, Universitätsspital, CH-Zürich

²Institut für Anatomie, Universität CH-Zürich

Zusammenfassung

Einleitung: Zum Erlernen der Mikrochirurgie ist ein systematisches Training der manuellen Geschicklichkeit unerlässlich. In der Vergangenheit wurde häufig nach ersten mikrochirurgischen Übungen an zweidimensionalen Modellen am Tier weitertrainiert.

Die zunehmende Verpflichtung, Tiere zu schützen, sowie strengere Tierschutzgesetze machen realitätsnahe, dreidimensionale Modelle für das Erlernen der Mikrochirurgie notwendig. Die vorhandenen Alternativen zum Tierversuch wiesen alle deutliche Mängel auf. Wir haben künstliche Gefässe aus Polyurethan-Elastomerharz für das mikrochirurgische Training getestet und mit den verfügbaren Alternativen verglichen.

Beschreibung des Trainingsmodells: Es stehen rosa (Arterien) und blau (Venen) eingefärbte, opake Gefässäquivalente mit einem minimalen Innendurchmesser von 1 mm und einer minimalen Wanddicke von 0,12 mm zur Verfügung. Zur Simulation des Operationszuganges und der Tiefe des Operationsfeldes können die Polyurethangefässe in ein Kunststoffkästchen mit oder ohne Abdeckung eingespannt werden. Nach Beendigung der Mikroanastomose kann diese auf Durchgängigkeit und Dichtigkeit überprüft werden.

Erfahrungen mit dem Modell: Die Konsistenz der Gefässwände, aber auch die variable Relation des Innendurchmessers zur Gefässwanddicke kommt sehr nahe an die biologische Situation heran und erlaubt auch das besonders anspruchsvolle Training an Venenäquivalenten mit fragiler Wand in allen Variationen. Nach Beendigung der Anastomose können die nicht transparenten Gefässwände längs aufgeschnitten werden, um die Nahttechnik zu überprüfen und ein eventuelles Mitfassen der Gefässhinterwand auszuschliessen.

Diskussion: Die von uns beschriebenen Polyurethan-Gefässe eignen sich – auch im Vergleich mit bisherigen dreidimensionalen Modellen – sehr gut als Zwischenschritt vom zweidimensionalen Modell zum Tierversuch. In jedem Fall lässt sich dadurch die Zahl der verwendeten Tiere für das Mikrochirurgie-Training deutlich reduzieren.

Summary: Polyurethane vessels for microvascular surgical training to reduce animal use

Aim: Systematic training of the manual skills is inevitable in learning microsurgery. Generally, first exercises are done on two-dimensional models, then the training continues on animals. With the growing ethical awareness, the obligation to protect animals and the stricter animal protection laws, realistic three-dimensional models have become necessary for training of microsurgery. However, the available alternatives all have certain disadvantages. We tested vessels made of polyurethane for microvascular surgical training and compared them to the available three-dimensional synthetic alternatives.

Description of the training model: Rose-coloured (arteries) or blue (veins), opaque vessels with a minimal wall thickness of 0.12 mm and a minimal internal diameter of 1 mm are used. To mimic the surgical access and the depth of the operative field, the vessels can be embedded in a synthetic box with or without a cap. The completed anastomosis is checked by injection of a coloured fluid.

Experiences: The consistency and the variable relation of the thickness of the wall to the internal diameter very closely reflect the biological situation. Even training on very fragile venous walls is possible in all manners. After completion of anastomosis the vessels can be opened longitudinally to check the patency of the anastomotic site.

Discussion: The described polyurethane vessels are very suitable for microsurgical training as a useful step between the two-dimensional model and the animal. The number of animals required for microsurgical training can clearly be reduced by the use of such synthetic polyurethane vessels.

Keywords: microsurgical training, polyurethane vessels, reduction of animal experiments



1 Einleitung

Das Erlernen mikrochirurgischer Techniken stellt hohe Anforderungen an die manuelle Geschicklichkeit und erfordert deshalb ein systematisches Training (Berger et al., 1985).

Die ersten mikrochirurgischen Übungen werden an zweidimensionalen Modellen wie Latex-Handschuhen (Baltantyne et al., 1980; Crosby et al., 1995; Fanua et al., 2001) oder speziell für das Mikrochirurgie-Training hergestellten Silikon-Plättchen durchgeführt. Wenn diese Übungen am zweidimensionalen Modell gut beherrscht werden, ist meist das Training am lebenden Tier der nächste Schritt, da es der intraoperativen Situation am nächsten kommt. Um der zunehmenden ethischen Verpflichtung, Tiere zu schützen, und den strengeren Tierschutzgesetzen nachzukommen, wurden in den letzten Jahren realitätsnahe, dreidimensionale Modelle als Zwischenschritt vom zweidimensionalen Modell zum Training am Tier entwickelt. Damit sollte die Zahl der verwendeten Tiere signifikant gesenkt werden.

Zur Anforderung an solche Modelle gehört eine möglichst grosse Ähnlichkeit zum menschlichen Gewebe und zur Anatomie. Zusätzlich sollten die Kosten und der Personalaufwand für das Training möglichst gering sein. Weitere Erfordernisse sind die einfache Handhabung, ein schneller Versuchsaufbau, die problemlose Lagerung und die Unabhängigkeit von einer Laboreinrichtung.

Die bisher beschriebenen Alternativen sind synthetische Materialien wie einfache Silikonröhrchen (Peled et al., 1983), kleine Polytetrafluoroethylene-Gefässgrafts (Korber et al., 1989) oder teure, speziell für das Mikrochirurgie-Training hergestellte Arterien-Venen-Nerv Modelle mit simulierter Adventitia (PracticeRat®) (Weber et al., 1997; Yen et al., 1995).

An biologischen Materialien finden die menschliche Plazenta (Guler et al., 1990; Weber et al., 1997), Gefässe von für andere Versuche verwendeten Tieren, sowie frische Hühner- und Schweineextremitäten Verwendung (Guler et al., 1990; Kim et al., 1994; Lannon et al., 2001; Steffens et al., 1992). Selbst an mikrochirurgischen Trainingsmöglichkeiten durch Computersimulation (Erel et al., 2003) wird gearbeitet.

Obwohl die angeführten alternativen Modelle alle brauchbar sind, kann keines die gestellten Anforderungen komplett erfüllen. Sie weisen entweder deutliche Mängel für ein realitätsnahes Erlernen der Mikrochirurgie auf, sind zu aufwändig oder zu teuer.

Eine interessante Alternative im Bereich der synthetischen mikrochirurgischen Trainingsmodelle sind Gefässe aus Polyurethan-Elastomerharz. In unserer Arbeit haben wir diese Gefässe getestet.

2 Beschreibung des Modells

Kunstgefässe aus Polyurethan-Elastomerharz sind undurchsichtig und werden in rosa Farbe als Arterienäquivalente und blau als Venenäquivalente hergestellt. Der derzeitige minimale Innendurchmesser (ID) beträgt 1 mm. Grössere Gefässe lassen sich ohne Einschränkung herstellen. Auch die Produktion noch kleinerer Gefässe ist denkbar. Die Wanddicke beträgt minimal 0,12 mm, kann aber durch das Auftragen von zusätzlichen Wandschichten schrittweise erhöht werden, um unterschiedliche Gefässtypen und Gefässstärken zu simulieren. Die Relation minimaler Innendurchmesser zu minimaler Gefässwanddicke entspricht 8,3:1. Arterienäquivalente stehen üblicherweise mehrschichtig zur Verfügung, Venen sind einschichtig (Abb. 1).

Durch die Schichtenstruktur der Wand besteht die Möglichkeit, Gefässe mit Aneurysmen und Wanddissektionen herzustellen. Die Shorehärte A für die Standardgefässe beträgt 40, die Bruchdehnung 700% und die Weiterreissfestigkeit 16 kg/cm.

Durch Zugabe eines Weichmachers kann allerdings bei der Produktion die Rigidität der Gefässwände variiert werden. Dadurch ergibt sich die Möglichkeit, die synthetischen Gefässe der Konsistenz von menschlichen Gefässen noch weiter anzugleichen.

Zur Intensivierung des Mikrotrainings können die Polyurethangefässe in ein Kunststoffkästchen von 13 cm Länge, 8 cm Breite und 5 cm Höhe in Quer- und Längsrichtung in zwei unterschiedlichen Etagen eingespannt werden (Abb. 2a).

Die Vorrichtungen für die Befestigung der Gefässe sind hohl, so dass nach Abschluss der Anastomose ihre Dichtigkeit mit Kochsalzlösung oder einer anderen (farbigen) Flüssigkeit geprüft werden kann (Abb. 2b).

Um die Bedingungen beim mikrochirurgischen Training der intraoperativen Situation noch weiter anzugleichen, gibt es für unser Modell eine Schaumstoffabdeckung von 18,5 cm x 18,5 cm x 6 cm mit einer Öffnung in der Mitte von 9,5 cm x 3,3 cm. Dadurch werden der Operationszugang und die Tiefe des Operationsfeldes simuliert (Abb. 2c).

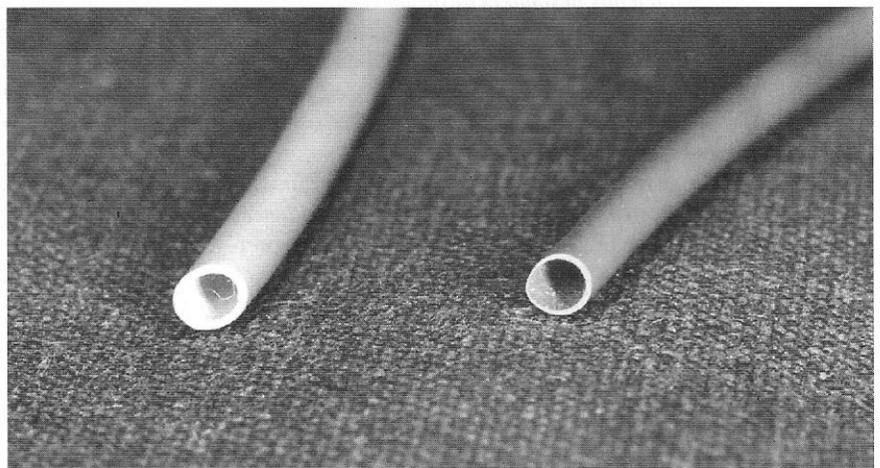


Abb. 1: Arterienäquivalent mit zweischichtiger Gefässwand (Dicke der Gefässwand 0,24 mm) links und tangential angeschnittenes Venenäquivalent mit sehr dünner, einschichtiger Gefässwand (Dicke der Gefässwand 0,12 mm) rechts. Der Innendurchmesser beider Gefässe beträgt jeweils 1,2 mm.

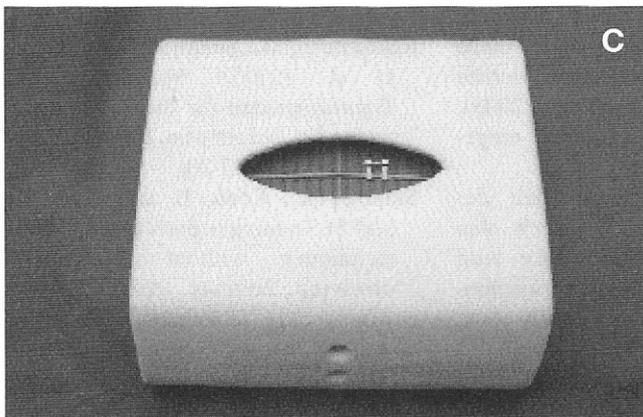
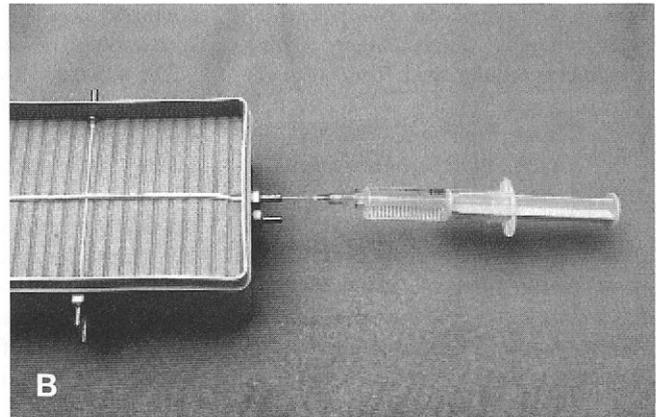
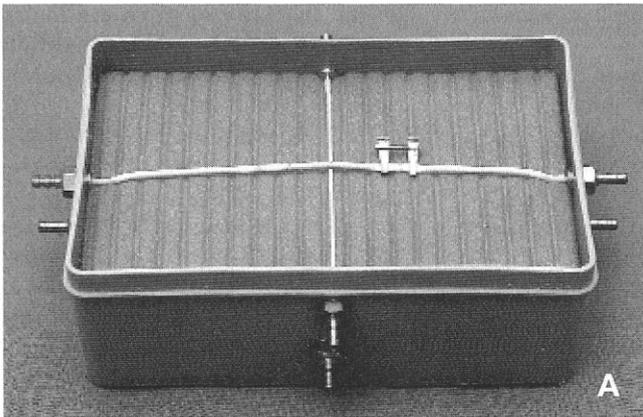


Abb. 2a: Kunststoffkästchen mit Polyurethangefässen als synthetisches Trainingsmodell zur Mikroanastomosierung von Gefässen. Arterienäquivalente sind in der oberflächlichen Etage in Quer- und Längsrichtung eingespannt. An der längs eingespannten Arterie ist eine verbundene Gefässklemme zur End-zu-Endanastomosierung angebracht.

Abb. 2b: Die Vorrichtung für die Befestigung der Gefässe besteht aus einem die Kästchenwand perforierenden Metallhohlzylinder, auf den eine flüssigkeitsgefüllte Spritze mit Kanüle zur Dichtigkeitsprüfung aufgesetzt ist.

Abb. 2c: Trainingsmodell aus Abbildung 2b mit Abdeckhaube.

3 Erfahrungen mit dem Modell

Die Durchführung von Anastomosen an den Polyurethangefässen wurde von Anfängern und von fortgeschrittenen Mikrochirurgen getestet. Es können sowohl End-zu-End-Anastomosen (Abb. 3), als auch End-zu-Seit-Anastomosen sowie Anastomosen an Gefässen mit Kalibersprünge problemlos trainiert werden.

Nach dem Erreichen der notwendigen Fertigkeit mit Anastomosen an den isolierten Polyurethangefässen können diese zur Erhöhung der Schwierigkeiten in das Kunststoffkästchen, zunächst ohne, später mit Abdeckung, eingebracht werden. Selbst dann bleibt das Training in der Handhabung einfach. Bei Bedarf können die Übungen problemlos unterbrochen und später wieder aufgenommen werden. Die Gefässe stehen zeitlich unlimitiert zur Verfügung und erfordern keinen personellen Aufwand zur Beschaffung. Wenn ein Operationsmikroskop vorhanden ist, kann unbeschränkt Mikrochirurgie trainiert werden.

Die Polyurethangefässe erlauben zahlreiche Anastomosen innerhalb kurzer Abschnitte. Nach Beendigung des Trainings können die nicht transparenten Gefässwände längs aufgeschnitten werden, um

die Nahttechnik zu überprüfen und ein eventuelles Mitfassen der Gefässhinterwand auszuschliessen.

Die günstige Relation von Innendurchmesser zu Gefässwanddicke kommt sehr

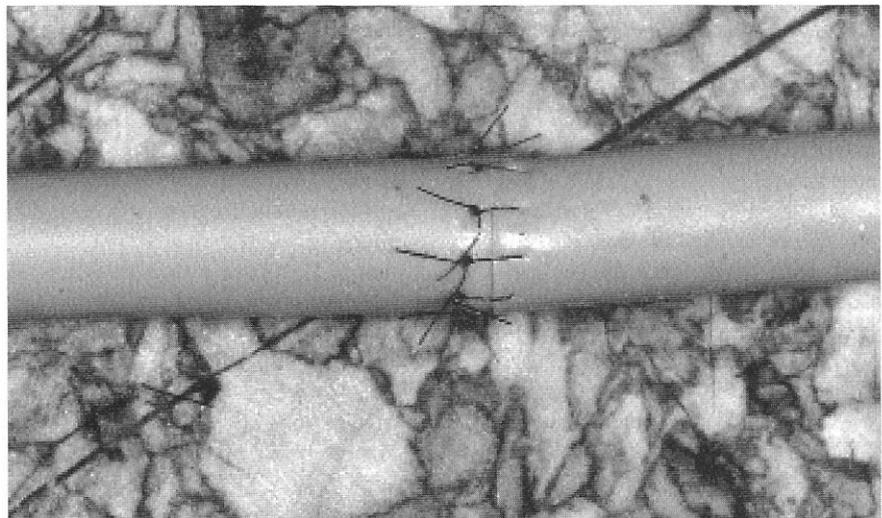


Abb. 3: End-zu-End-Anastomose an einem Venenäquivalent (Innendurchmesser 1,2 mm, Gefässwanddicke 0,12 mm), Nahtmaterial 10/0 Nylon, Vergrößerung 16-fach.



nahe an die biologische Situation *in vivo* heran, und die Variabilität der Gefäßwanddicke erlaubt auch das besonders anspruchsvolle Training an Venenäquivalenten mit fragiler Wand.

Ein Nachteil dieses synthetischen Modells ist, dass die für eine gute Anastomose wichtige Gefäßpräparation entfällt. Weiter können bei unserem Modell intraoperativ mögliche Schwierigkeiten durch Blutungen, anatomisch ungünstige Verhältnisse oder Variationen nicht geübt werden.

4 Diskussion

Das Training mikrochirurgischer Gefäßanastomosen an Polyurethangefässen hat sich als Zwischenschritt vom zweidimensionalen Modell zum Training am Tier sehr bewährt, auch im Vergleich zu anderen synthetischen Modellen. So weisen Silikonröhrchen ein wesentlich ungünstigeres Verhältnis von Innendurchmesser zu Wanddicke auf (Relation 1,8 bis 2,3:1), haben eine rigidere Wand (Shorehärte A>50) und sind transparent. Dadurch bleibt die Gefäßhinterwand immer sichtbar, und es besteht, im Gegensatz zur Situation *in vivo*, keine Gefahr des Mitfassens der gegenüberliegenden Gefäßwand. Andere Kunststoffgefäßäquivalente weisen realitätsnähere Eigenschaften auf. So zum Beispiel Gefässe aus Polytetrafluoroethylene mit dünner, undurchsichtiger und weicher Wand. Diese Gefässe, die in der (Makro)Gefäßchirurgie weit verbreitet sind, werden auf dem europäischen Markt erst ab einem Minimaldurchmesser von 3 mm angeboten. Eine Spezialanfertigung wäre entsprechend teuer und aufwändig.

Arterien-Venen-Nerv Modelle mit simulierter Adventitia aus Polyethylen sind noch teurer und übersteigen die Kosten des Trainings am Tier.

Bei anderen, biologischen Modellen für das Erlernen der Mikrochirurgie wie Plazentagefässen oder Teilen von toten Tieren ist die Verfügbarkeit ein Problem. Das Tiermaterial ist zwar bei 4 Grad Celsius lagerbar, die Beschaffung setzt

aber bereits wieder eine entsprechende Infrastruktur voraus.

Die von uns verwendeten Polyurethangefässe sind nicht nur einfach in der Handhabung, sie sind auch kostengünstig. Der Anschaffungspreis für einen Meter Gefäßäquivalent ist vergleichbar mit den Kosten für eine Ratte (65-70 SFr). Für diesen Preis können mit den Polyurethangefässen aber deutlich mehr Anastomosen trainiert werden. Der Anschaffungspreis für das Kunststoffkästchen als Trainingsmodell beträgt 190 SFr.

Polyurethangefässe werden bereits auch in einem Trainingsmodell der Herzchirurgie, bei dem eine integrierte Pumpe die Chirurgie am schlagenden Herzen simuliert (Reuthebuch et al., 2003), erfolgreich als „Koronararterien“ eingesetzt.

Durch dieses Trainingsmodell der Herzchirurgie wie auch durch den Einsatz der Polyurethangefässe zum Training für mikrovaskuläre Anastomosen kann die Anzahl von Versuchstieren deutlich reduziert werden.

Literatur

- Ballantyne, D. L., Reiffel, R. S. and Harper, A. D. (1980). A systematic learning program for microvascular technique. *Plast. Reconstr. Surg.* 65(1), 80-82.
- Berger, A. and Tizian, C. (1985). *Technik der Mikrochirurgie. Lehrbuch und Atlas.* Stuttgart: Kohlhammer.
- Crosby, N. L., Clapson, J. B., Buncke, H. J. et al. (1995). Advanced non-animal microsurgical exercises. *Microsurgery* 16(9), 655-658.
- Erel, E., Aiyenibe, B. and Butler, P. E. (2003). Microsurgery simulators in virtual reality: review. *Microsurgery* 23(2), 147-152.
- Fanua, S. P., Kim, J. and Shaw Wilgis, E. F. (2001). Alternative model for teaching microsurgery. *Microsurgery* 21(8), 379-382.
- Guler, M. M. and Rao, G. S. (1990). Canniesburn „ever-ready“ model to practise microsurgery. *Br. J. Plast. Surg.* 43(3), 381-382.

Kim, D. C., Hayward, P. G. and Morrison, W. A. (1994). Training model for microvessel anastomosis. *Microsurgery* 15(11), 820-821.

Korber, K. E. and Kraemer, B. A. (1989). Use of small-caliber polytetrafluoroethylene (Gore-Tex) grafts in microsurgical training. *Microsurgery* 10(2), 113-115.

Lannon, D. A., Atkins, J. A. and Butler, P. E. (2001). Non-vital, prosthetic, and virtual reality models of microsurgical training. *Microsurgery* 21(8), 389-393.

Peled, I. J., Kaplan, H. Y. and Wexler, M. R. (1983). Microsilicone anastomoses. *Ann. Plast. Surg.* 10(4), 331-332.

Reuthebuch, O., Schmidt, D., Lang, A. et al. (2003). Vollsynthetisches Trainingsmodell für die Koronarchirurgie: die Abkehr von Tierversuchen? *ALTEX* 20(1), 17-20.

Steffens, K., Koob, E. and Hong, G. (1992). Training in basic microsurgical techniques without experiments involving animals. *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 111(4), 198-203.

Weber, D., Moser, N. and Rosslein, R. (1997). A synthetic model for microsurgical training: a surgical contribution to reduce the number of animal experiments. *Eur. J. Pediatr. Surg.* 7(4), 204-206.

Yen, D. M., Arroyo, R., Berezniak, R. et al. (1995). New model for microsurgical training and skills maintenance. *Microsurgery* 16(11), 760-762.

Korrespondenzadresse

Dr. Sonja A. Meier
Klinik für Wiederherstellungschirurgie
Departement für Chirurgie
Universitätsspital
Rämistrasse 100
CH-8091 Zürich
E-Mail: sonjameier@usz.ch
Tel.: +41-1-255 11 11
Fax: +41-1-255 89 77

(Bezugsquelle für Polyurethangefässe und Trainingskästchen:
Dani Frei, Wiedenstr. 11, 9470 Buchs,
freiflug@bluewin.ch)