

Ersatz- und Ergänzungsmethoden in der mikrochirurgischen Ausbildung

Harald Schöffl¹ und Albert Kröpfl²

1) Arbeitskreis für die Förderung tierversuchsfreier Forschung, Linz

2) Unfallkrankenhaus AUVA, Salzburg

Zusammenfassung

Diese Literaturstudie gibt eine Darstellung der bislang publizierten Arbeiten über die Verwendung von Ersatz- und Ergänzungsmethoden zu Tierversuchen in der Ausbildung in mikrochirurgischen Techniken.

Früher war das narkotisierte Tier zum Erlernen von mikrochirurgischen Grundtechniken und auch zum Training das Standardmodell. In den letzten Jahren jedoch wurden zunehmend Ersatz- und Ergänzungsmethoden beschrieben.

Da mikrochirurgische Techniken heute in mehr oder weniger allen chirurgischen Fächern zur Lösung spezieller Probleme herangezogen werden, ist das Erlernen und ständige Training dieser Methoden von großer klinischer Bedeutung.

Die wachsende Sensibilisierung der Gesellschaft in Tierschutzfragen, aber auch die zunehmende Bedeutung von ethischen Gesichtspunkten und Tierschutzaspekten bei Ausbildungsfragen in den biomedizinischen Wissenschaften, machen es dringend notwendig, die Tierzahlen in dieser Sparte zu reduzieren.

Summary: Alternatives to laboratory animals in microsurgical training

Aim of this present literature-study is to show the possibilities of reduction and replacement of laboratory animals in education and training in microsurgical techniques.

Laboratory animals have been the standard model for a microsurgical unit. In the last years some publications about the use of alternatives to laboratory animals can be found.

Microsurgical techniques are used in almost all surgical disciplines and so there is an enormous importance for the clinical work.

Because of the increasing sensibility of the public animal welfare has a higher rank now. Furthermore ethical viewpoints are more important for research, science, and medical and biomedical education.

The necessity of laboratory animals for education and training in microsurgical techniques is discussed. Furthermore there are alternatives to laboratory animals described.

Einleitung

Bereits 1912 erhielt Alexis Carrel den Nobelpreis für seine Arbeiten über die Technik der Anastomose von kleinen Blutgefäßen (Carrel, 1907).

In den letzten 30 Jahren ist nun die Verwendung von mikrochirurgischen Operationstechniken für den klinischen Alltag zunehmend wichtiger geworden, und heute sind diese Operationstechniken fester Bestandteil praktisch aller chirurgischen Fächer (Millesi, 1980; O'Brien und Morrison, 1987).

Durch die Verwendung von Operationsmikroskopen können Nerven und Gefäße, die weniger als einen Millimeter Durchmesser haben, genäht werden. Für die Erlernung und Beherrschung solcher Operationstechniken genügt die konventionelle chirurgische Ausbildung nicht mehr. Es muß eine neue Ausbildungsstrategie entwickelt werden, die ein regelmäßiges Üben der erlernten Operationstechniken am Modell ermöglicht.

Da eine exakte Beherrschung der operativen Techniken der Mikrochirurgie über Erfolg oder Mißerfolg, etwa bei der Replantation einer abgetrennten Extremität, entscheidet, muß besonders sorgfältig abgeschätzt werden, wie das gewünschte Lernziel erreicht werden kann.

Andererseits fordern strengere Gesetzgebung, zunehmend kritischere Öffentlichkeit und steigende Sensibilisierung für ethische Gesichtspunkte des wissenschaftlichen Arbeitens nachdrücklich, die Tierzahlen in der Ausbildung zu reduzieren, ohne die Lehrqualität abzusenken.

Seit der Formulierung der 3R (*refine, reduce, replace*) durch Russell und Burch (1959) ist jede wissenschaftliche Disziplin aufgefordert, ihre Arbeit auch unter diesen Gesichtspunkten zu sehen.

Für die Ausbildung, Fortbildung und für das Training in mikrochirurgischen Techniken scheint ein Stufenplan von Ersatz- und Ergänzungsmethoden, wie ihn auch Freys und Koob (1988) und Steffens et al. (1992) vorgeschlagen haben, eine

weitgehende Reduktion von Tierversuchen zu ermöglichen.

So lassen sich Tierversuche in den Grundlehrgängen durch die Verwendung von Silastikschläuchen (Derman und Schenck, 1977; Gordon und Buncke, 1977; Shihua Li et al., 1992) und von Operationsgummihandschuhen (Ballantyne et al., 1980; Lee und Coppersmith, 1983) als Simulationsmodell ersetzen. Diese Verfahren können jedoch nur einführbaren Charakter haben.

Aus biologischer Herkunft wurden verschiedene Simulationsmodelle vorgeschlagen: die gestrippte variköse Vene (Pfander, 1980), die Verwendung von Plazenta (Cohen, 1979; Goldstein, 1979; McGregor, 1980; McGregor et al., 1983; Waterhouse et al., 1985; Ayoubi et al., 1992), der Hühnerschenkel (Sueur et al., 1981), das frischgeschlachtete Hühnchen (Govila, 1981), der Schweinevorderlauf (Steffens et al., 1992) und das perfundierte Schweineherz (Kröpfl und Primavesi, 1990; Kröpfl et al., 1992; Kröpfl, 1993; Kröpfl et al., 1993; Freys und Koob, 1988) und humane Haut (Govila und Sharma, 1990).

Mit einer Kombination dieser Methoden läßt sich bei den Anfängerübungen ein völliger Verzicht auf Tierversuche erreichen. Freys und Koob (1992) konnten zeigen, daß nach Absolvierung eines Vierstufenprogramms, das aus Nahtübungen am Operationshandschuh sowie am Silastikschlauch und anschließend aus Übungen am *N. ischiadicus* des Hühnerschenkels und am perfundierten Schweineherzen bestand, die gleichen Lernziele erreicht werden konnten, wie sie ein Training im Tierversuch vermittelt hätte.

Im Anschluß an diese Basisausbildung empfehlen andere Autoren die Überprüfung der Fähigkeiten der Lernenden am Labortier (Kröpfl, 1993). Dabei ist allerdings zu fordern, daß alle Möglichkeiten des *Refinement* ausgeschöpft werden (AVTRW, 1989; UFAW, 1989a; UFAW, 1989b). Ein erfahrener Fachtierarzt für Versuchstierkunde sollte die Auszubildenden überwa-

chen, und die Vorratshaltung der Versuchstiere müsste den heutigen ethologischen Erkenntnissen (Stauffacher, 1992; Stauffacher, 1993) entsprechen. Abzulehnen ist die nur gelegentliche Verwendung von Versuchstieren in peripheren Krankenhäusern ohne Versuchstierhaltung, ohne entsprechend ausgebildetes Personal, bei fehlender tierexperimenteller Erfahrung und Infrastruktur.

Bei Durchsicht der Literatur stellt man fest, daß fast alle Autoren nach Übungen an Silastikfolien und -schläuchen das Üben am Versuchstier unter den speziellen Bedingungen des Mikrochirurgielabors empfehlen (Karl et al., 1977; Brunelli, 1980; Green, 1990).

Das am häufigsten empfohlene Versuchstier ist die Ratte. Hier wird dem Anfänger die Anastomose der *Aorta abdominalis* (Biemer und Dupiva, 1980) vorgeschlagen. Auch die Anastomose an der *Arteria* und *Vena femoralis* wird von verschiedenen Autoren empfohlen (Rosenbaum und Sundt, 1976; Bittner, 1977; Stock und Oesterwitz, 1983; Austin et al., 1983). Miklic et al. (1980) sehen in der *A. carotis* der Ratte ein ideales Übungs- und auch Trainingsmodell.

Greenhalg et al. (1981) schlugen die Verwendung von Kaninchen vor und empfahlen besonders die *Regio femoralis*.

Auch für das Erlernen mikroneurochirurgischer Techniken wird die Ratte vorgeschlagen (Berger und Tizian, 1985; Mehdorm und Müller, 1987). Die Forderung von Steffens et al. (1992) nach der Absolvierung von mindestens 100 mikroneuralen Einzelübungen wirft eine Reihe von Problemen auf, wie Zeit- und Kostenaufwand, große Zahl an Tieren; sie weckt auch ethische Bedenken. Ferner sind gerade auch in großen Krankenhäusern ohne Universitätsanschluß meist keine Tierhaltung und Tierversuchsanlage mit entsprechendem Personal und Infrastruktur vorhanden. Ferner vertreten Steffens et al. (1992) die Meinung, daß gerade in diesem Fall die Ratte ein

besonders realitätsfernes Modell ist, da der verwendete *N. ischiadicus* ein bifaszikulärer Nerv ist, und daher das Training einer Naht eines polyfaszikulären Nerven nicht möglich ist. Als „besonders realitätsfern“ wird die Übung der Nervenreplantation an der Ratte bezeichnet, da das auf wenige Zentimeter freipräparierte Nervenstück dort wieder replantiert wird, von wo es zuvor entnommen wurde. Die in der Realität schwierige Faszikelzuordnung entfällt dadurch.

Gewisse Autoren empfehlen für die gynäkologische Mikrochirurgie die Verwendung von Kaninchen, wobei die Eileiter reanastomiert werden, und in der Folge der Nidationsindex und der Schwangerschaftsindex als Parameter für eine erfolgreiche Operation verwendet werden (Oelsner et al., 1985; Phillips und Winchester, 1980). Auch für die andrologisch-urologische Mikrochirurgie wurden entsprechende Tiermodelle als Vorbereitung vorgeschlagen (Fuhse und Battke, 1982).

Buncke und Schulz (1966) und Shearin et al. (1976) schlugen die Replantation des Hasenohres vor. Quinlan und De Villiers (1982) empfahlen neben der Verwendung von Ratten und Kaninchen auch den Einsatz von Hunden und Affen. Dies scheint jedoch eine heute nicht mehr vertretbare Forderung zu sein, und es dürfte auch entsprechend schwer sein, den Genehmigungsbehörden dafür ausreichend plausible Gründe vorlegen zu können.

Lee et al. (1981) stellten ein komplettes tierexperimentelles Lern- und Trainingsprogramm an der Ratte vor, das Anastomosen an der *A. carotis*, Anastomosen und Interponate an den Femoralgefäßen, Amputation und anschließende Replantation von Extremitäten, Hautlappentransfer von der Leiste zum Hals, Portocaval Shunt, Vasovasostomie, diverse Nervenreparaturtechniken, Anastomose der Trachea und Organtransplantationen beinhaltet.

Material und Methoden

Operationshandschuh

Durch die Verwendung eines Operationshandschuhs als Trainingsobjekt sollen die Gewöhnung an die besonderen Arbeitsverhältnisse unter dem Mikroskop sowie die Handhabung der mikrochirurgischen Knotentechnik erlernt werden. Ballantyne et al. (1980) und Lee und Coppersmith (1983) haben dazu detaillierte Vorschläge gemacht.

Freys und Koob (1988) haben in ihrem Vierstufen-Trainingsplan zuerst Übungen am Operationshandschuh vorgesehen. Es werden kleine Streifen herausgeschnitten, anschließend auf einer Unterlage parallel befestigt und unter dem Operationsmikroskop mit Einzelknopfnähten instrumentell vernäht. Durch nicht gerade Schnittführung und durch den Wechsel auf zunehmend feineres Nahtmaterial (6-0 bis 11-0) werden die Übungen anspruchsvoller.

Silastikschlauch

Die Verwendung von Silastikschläuchen als Übungsmodell findet sich bei mehreren Autoren erwähnt (Derman und Schenck, 1977; Gordon und Buncke, 1977; Freys und Koob, 1988; Shihua Li et al., 1992). Nach dem Erlernen grundsätzlicher Techniken, etwa am Operationshandschuh, bieten sich dünne Silastikröhrchen an, die durchtrennt und fixiert werden und dann für End-zu-End- (Abbildung 1) und End-zu-Seit-Anastomosen (Abbildung 2)

verwendet werden können. Der Schwierigkeitsgrad kann durch das Reduzieren des Röhrchendurchmessers erhöht werden, wobei Kaliber von 1,2 mm bis 0,6 mm empfehlenswert sind. Im weiteren können verschiedene Schnittführungen, feineres Nahtmaterial und verschiedene Nahttechniken den Schwierigkeitsgrad wesentlich erhöhen.

Alle Autoren betrachten aber sowohl die Übungen am Operationshandschuh als auch die Übungen an den Silastikröhrchen lediglich als Einführung in das mikrochirurgische Arbeiten.

Hühnerschenkel

Sucur et al. (1981) beschrieben den Hühnerschenkel als Lern- und Trainingsmöglichkeit. Sie betonten, daß ein großer Unterschied zwischen freilaufenden und gemästeten Batteriehühnern bestehe.

Das Gefäßnervenbündel des Hühnerschenkels kann etwa auf eine Länge von 15 cm makroskopisch und mikroskopisch freipräpariert werden und eignet sich zum Erlernen von arteriellen, venösen und arteriovenösen Anastomosen sowie für mikroneurochirurgische Übungen. Der *N. ischiadicus* und der *N. peroneus communis* werden für typische Aufgaben wie Nervennaht (Abbildung 3) und Nerveninterponat (Abbildung 4) verwendet. Die Konservierung dieser Präparate ist in Gefrierschränken möglich.

Steffens et al. (1992) vertreten allerdings die Ansicht, daß die Nervendicke, der Faszikelauflaufbau, sowie

die Dicke des Epineuriums des Hühnerpräparates zu verschiedenen zum Aufbau humaner Nerven sind und daher kein geeignetes Modell vorliegt. Sie sehen diese Probleme in der Verwendung des Schweinevorlaufes als gelöst an.

Hühnchen

Die Verwendung von frisch geschlachteten Hühnchen aus der Metzgerei findet sich bei Govila (1981) beschrieben. Von Hals bis zum oberen Mediastinum finden sich zahlreiche Gefäße mit verschiedenen Gefäßquerschnitten. Bevorzugt werden die *A. carotis communis*, *A. pectoralis* und der *Arcus aortae*. Weitere geeignete Gefäße finden sich im Mesenterialbereich und im Becken.

Als Nachteil sieht der Autor das Fehlen einer dynamischen Zirkulation. Er glaubt jedoch, daß die Qualität der Übungsnahte nach Längsspaltung der Gefäße ausreichend beurteilt werden kann. Ferner läßt sich, nach Kanülierung und Perfusion, mit einer gefärbten Flüssigkeit die Dichtigkeit überprüfen.

Humane Plazenta

Bereits 1979 wies Goldstein auf die Möglichkeit der Verwendung von frischer humaner Plazenta für die mikrochirurgische Aus- und Weiterbildung hin. Ebenfalls 1979 publizierte Cohen gefäß- und mikrogefäßchirurgische Techniken an der Plazenta.

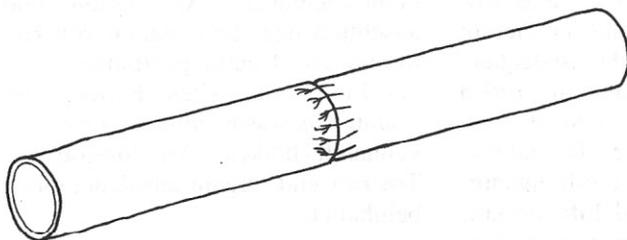


Abbildung 1: Fertiggestellte End-zu-End-Anastomose in Einzelknopf-Nahttechnik am Silastikröhrchen.

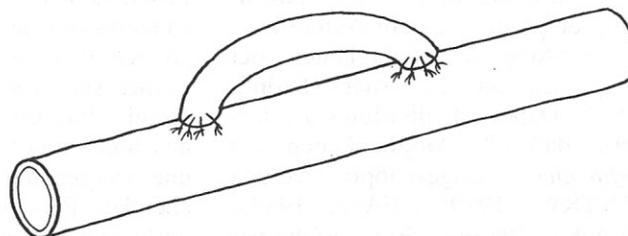


Abbildung 2: Fertiggestellte End-zu-Seit-Anastomose in Einzelknopf-Nahttechnik am Silastikröhrchen.

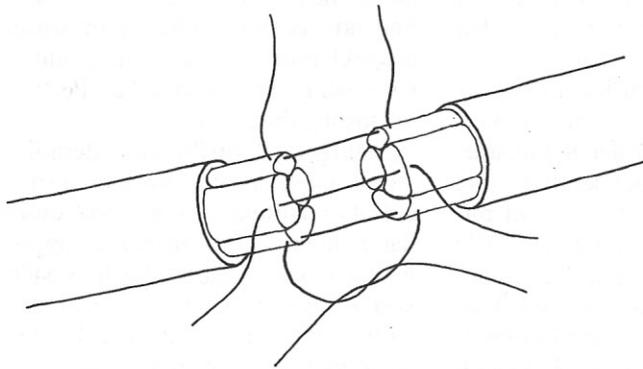


Abbildung 3: Durchführung einer interfaszikulären Nervennaht durch perineurale Einzelknopfnähte.

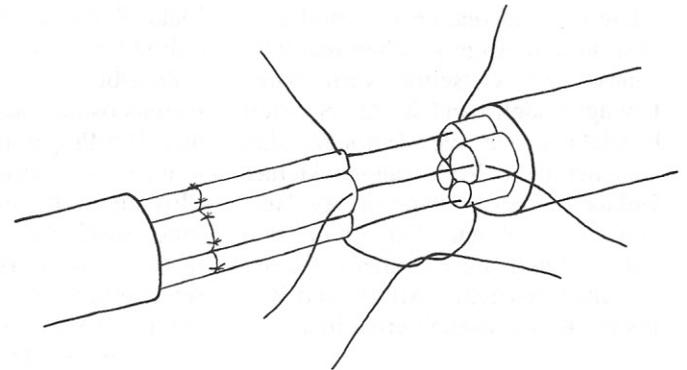


Abbildung 4: Anlage eines Nerveninterponates, wobei die jeweiligen interfaszikulären perineuralen Nähte in Einzelknopfnähte ausgeführt werden.

Die menschliche Plazenta hat einen Durchmesser von ca. 20 cm, eine Dicke von 2,5 cm und ein Gewicht von etwa 0,65 kg. An der Oberseite treten mit der Nabelschnur zwei *Aa. umbilicales* und die *V. umbilicalis* ein und verzweigen sich strahlenförmig über die Oberfläche. Die arteriellen Anastomosen wurden von Szpakowski (1974) beschrieben.

Ayoubi et al. (1980), Mc Gregor (1980) und Mc Gregor et al. (1983) haben die nicht perfundierten Plazentagefäße, die zwischen 4 mm und weniger als 1 mm Durchmesser haben, als Übungsmodell verwendet. Dabei werden die Gefäße freipräpariert, daran können die üblichen Anastomosetechniken erlernt und geübt werden. Die Qualität der Nähte läßt sich durch Infusion in den entsprechenden Gefäßabschnitt und durch die Längsspaltung des Gefäßes und Begutachtung überprüfen. Mc Gregor hält die Perfusion des gesamten Organes für nicht nötig.

Waterhouse et al. (1985) beurteilen aber gerade das Fehlen einer dynamischen Zirkulation als großen Nachteil und haben daher ein Modell entwickelt, das diese Nachteile nicht mehr aufweist. Diese perfundierte Plazenta soll ein besonders realitätsnahes Übungsmodell darstellen. Nach Durchtrennung der Nabelschnur 2–3 cm vor der Insertionsstelle in die Plazenta wird das ganze Organ in warmem Wasser gewa-

schwen, bis kein Blut mehr aus der *V. umbilicalis* fließt. Danach wird eine der *A. umbilicalis* mit einem herkömmlichen Venflon kanüliert, dieser mit einer Naht befestigt und anschließend mit physiologischer NaCl Lösung perfundiert. Wenn die Durchgängigkeit durch das Austreten der Flüssigkeit aus der *V. umbilicalis* nachgewiesen ist, wird eine Pumpe für einen pulsatilem Durchfluß angeschlossen. Es hat sich eine Durchflußmenge von 20–22 ml/min bewährt. Nach der Installation dieses Übungsmodells kann die Präparation der Gefäße erfolgen. Kleinste Verletzungen werden dabei durch den pulsatilem Durchfluß sofort sichtbar, wobei kleine Lecks nur bei den periodischen Druckspitzen, größere hingegen permanent undicht sind. Es kann dann eine entsprechende Revision durchgeführt werden. Nach der Mobilisierung der Gefäße werden entsprechende Klammern gesetzt, die Gefäße durchtrennt, und typische gefäßchirurgische Verfahren wie End-zu-End- (Abbildung 1), End-zu-Seit-Anastomose (Abbildung 2) und Veneninterponat (Abbildung 9) können durchgeführt werden.

Schweinevorderlauf

Der Vorderlauf des Schweines kann bei jedem Fleischer frisch und kostengünstig erworben werden. Darin

finden sich zahlreiche mono-, oligo- und polyfaszikuläre Nerven, die nach Ansicht von Steffens et al. (1992) ein brauchbares und realitätsnahes Lern- und Übungsobjekt für die Mikroneurochirurgie darstellen, da die Ähnlichkeit mit humanen Nerven sehr groß ist. Alle grundlegenden Übungen, wie Neurolyse, diverse Nahttechniken und Nerventransplantate, können durchgeführt werden. Nach Meinung der Autoren sind mindestens 100 mikroneurale Einzelübungen notwendig, um typische Anfängerfehler zu vermeiden.

Sie schlagen folgendes Fünf-Stufen Programm vor:

- a) nach der Präparation der Gefäßnervenstraße die Entfernung des äußeren Epineuriums und als weiteren Schritt interfaszikuläre Präparationen
- b) epineurale Nervennahte mit anfangs relativ dickem Nahtmaterial, später mit feinerem Faden und kleiner kalibrigen Nerven
- c) perineurale Nähte
- d) interfaszikuläre Nähte
- e) Nerventransplantation, wobei zuerst herausgeschnittene Nervensegmente wieder eingenäht werden. Später wird an einem oligo- oder polyfaszikulären Nerv ein 3 bis 5 cm langes Segment herausgeschnitten und durch ein mono- oder bifaszikuläres Interponat ersetzt. Am Ende sollte der Übende

zu einer korrekten Faszikelzuordnung in der Lage sein.

Die Autoren sind überzeugt, daß es sich um ein ausgesprochen realitätsnahes und vielseitig variiertes Übungsmodell handelt. Als Nachteil bezeichnen sie die Tatsache, daß versehentliche Verletzungen kleiner Gefäße bei der Präparation von Nerven nicht bluten. Dies läßt sich jedoch durch die Kanülierung einer proximal gelegenen Arterie und Perfusion mit Flüssigkeit erreichen.

Perfundiertes Schweineherz

Freys und Koob (1988), beschrieben das Training von Mikrogefäßanastomosen an perfundierten Koronargefäßen eines Schweineherzens. Die Praktikabilität dieses Trainingsmodells wurde von Kröpfl et al. (1990) bestätigt.

Ungeöffnete Schweineherzen können nach Rücksprache von einem Schlachthof oder einer Metzgerei bezogen werden. Eine Koronararterie wird zu Übungszwecken durch eine Kanüle vom *Ostium* der *Aorta ascendens* sondiert, die Kanüle wird mittels einer Naht in der Koronararterie fixiert, und über diese liegende

Kanüle kann schließlich die Koronararterie mit einer handelsüblichen Elektrolytlösung perfundiert werden (Abbildung 5 und Abbildung 6).

Zu Übungszwecken kann die Perfusionslösung auch eingefärbt werden. Die Präparation der Koronararterie aus dem umgebenden Fett- und Muskelgewebe stellt bereits ein mikrochirurgisches Training dar. Alle mikrogefäßchirurgischen Anastomosetechniken wie End-zu-End-Anastomose (Abbildung 1), End-zu-Seit-Anastomose (Abbildung 2), Gefäßinterponat (Abbildung 9) können an diesem Modell geübt werden.

Der Schwierigkeitsgrad der Übung steigert sich, wenn zunehmend periphere Gefäßabschnitte zu den Übungen verwendet werden. Vor allem stellt die Präparation eines Seitenastes einer Koronararterie, welcher für die End-zu-Seit-Anastomose benötigt wird, ein ideales Trainingsmodell für die mikrochirurgische Präparationstechnik dar. In Abbildung 7 ist eine fertiggestellte End-zu-End-Anastomose an einer Koronararterie eines Schweineherzens dargestellt, und Abbildung 8 zeigt eine durchgeführte End-zu-Seit-Anastomose, wobei der Seitenast der Koronararterie zurückgeschlagen und mit dem

Hauptgefäß in Einzelknopftechnik anastomosiert ist. Das dazwischenliegende Hauptgefäßsegment wurde ausgeklemmt, und die Umgehungsstrombahn wird von einer Perfusionslösung durchspült.

Naturgemäß bleibt eine derartige Anastomose an diesem Übungsmodell bei laufender Perfusion durch das Fehlen der Thrombozytenaggregation etwas undicht. Nach Ansicht von Kröpfl et al. (1993) ist es deshalb sehr wichtig, daß der Übende bei seinen ersten Gefäßanastomosen von einem erfahrenen Mikrochirurgen überwacht wird, damit bereits in der Anfangsphase etwaige technische Fehler ausgemerzt werden können. Mit einiger Erfahrung kann der Übende dann abschätzen, ob bei einer eventuellen Leckage der Anastomose noch eine Zwischennaht notwendig ist oder nicht.

Nach Abschluß des Trainingsprogrammes am Schweineherzen ist nach Ansicht von Kröpfl et al. (1993) jedoch ein weiteres Training der Mikrogefäßanastomose am narkotisierten Versuchstier notwendig, um die erlernten Techniken hinsichtlich ihrer Sicherheit, wie etwa Thromboserate, Dichtheit der Anastomosen, unter *in vivo* Bedingungen

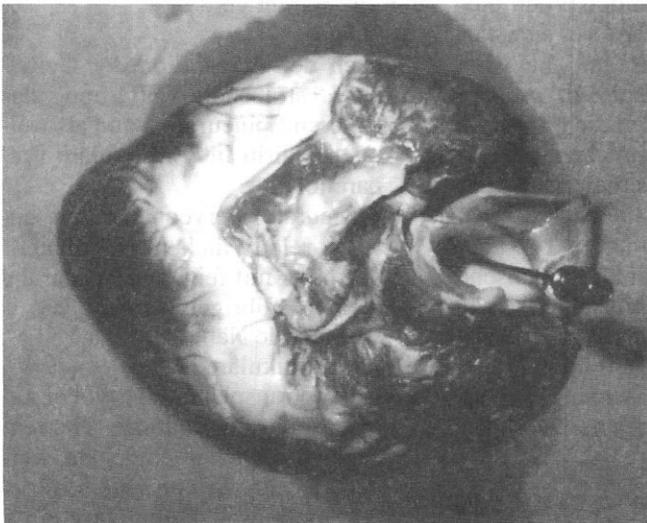


Abbildung 5: In den proximalen Anteil einer Koronararterie eines Schweineherzens ist eine Kanüle eingeführt, um diese anschließend mittels einer Elektrolytlösung perfundieren zu können.

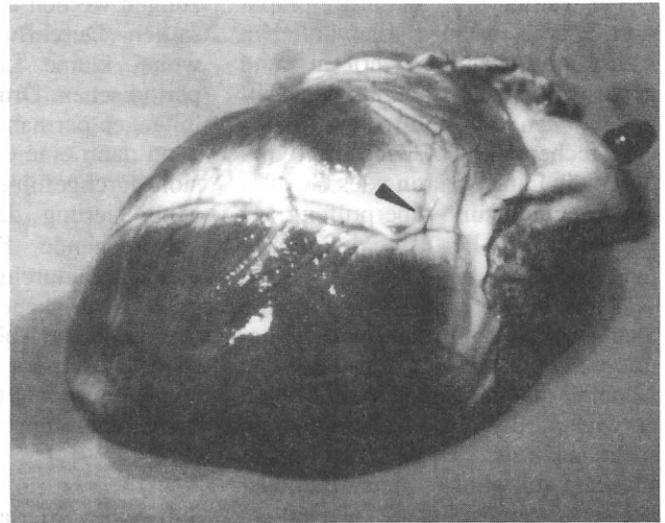


Abbildung 6: Die Perfusionskanüle wird in das *Ostium* einer Koronararterie des Schweineherzens von der *Aorta ascendens* aus eingeführt und mit einer Naht (Pfeil) fixiert.

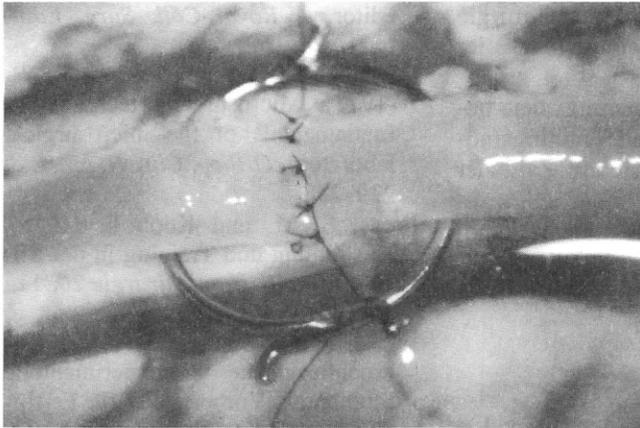


Abbildung 7: Fertiggestellte End-zu-End-Anastomose an einer Koronararterie eines Schweineherzens in Einzelknopf-Nahttechnik. Die Anastomose wird bereits von der Perfusion durchströmt.



Abbildung 8: Fertiggestellte End-zu-Seit-Anastomose eines zurück-geschlagenen Seitenastes einer Koronararterie mit dem Hauptstamm. Das dazwischenliegende Hauptgefäßsegment wird ausgeklemmt, und die Umgehungsstrombahn wird von der Perfusion durchströmt.

zu testen. Durch die Einführung des Trainingsmodelles am toten Organ läßt sich nach Ansicht der Autoren jedoch die Zahl der sonst benötigten Tierversuche in der Ausbildung deutlich reduzieren.

Humane variköse Vene

Die Verwendung von aus therapeutischen Gründen operativ entfernten varikösen Venen beschrieb Pfander (1980). Nach der Präparation der *Adventitia* wird das Gefäß in geeigneter Weise befestigt, und an den zahlreichen Seitenästen können die typischen Anastomosetechniken geübt werden.

Humane Haut

Die Verwendung von Haut humanen Ursprungs, die etwa aus therapeutischen Gründen operativ entfernt wurde, schlagen Govila und Sharma (1990) vor. Diese kann auch gekühlt in Ringerlösung aufbewahrt werden.

Gefäße verschiedenen Kalibers werden angetroffen, und daran können die zwei wichtigsten Lernziele, nämlich die schonende Präparation und Mikrogefäßanastomosen erlernt und trainiert werden. Gerade die möglichst atraumatische Mobilisie-

rung der Strukturen in Blutleere entspricht der klinischen Situation der Replantation eines abgetrennten Körperteiles.

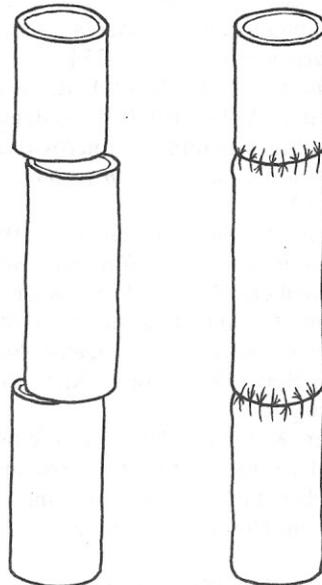


Abbildung 9: Anlage eines Gefäßinterponates, wobei die jeweiligen Anastomosen in Einzelknopftechnik ausgeführt werden.

Diskussion

Für die Ausbildung und das Training der Chirurgen, die mikrochirurgische Techniken in ihrem Fachgebiet an-

wenden, muß ein speziell eingerichtetes mikrochirurgisches Laboratorium zur Verfügung stehen (Quinlan und De Villiers, 1981; Austin et al., 1983; Green, 1990).

Die ersten mikrochirurgischen Ausbildungsschritte werden an zerschnittenen Gummifolien, Operationshandschuhen und Silikonröhrchen durchgeführt (Ballantyne et al., 1980; Freys und Koob, 1988). An diesen Basismodellen können jedoch nur die elementaren Grundtechniken erlernt werden. Es gilt als erwiesen, daß für das weitere Training klinische Situationen mit möglicher Gefäßthrombose oder mit der Leckage einer Gefäßanastomose am besten am narkotisierten Versuchstier imitiert werden können. Auch Langzeitergebnisse von Gefäß- und Nervennähten können naturgemäß nur am lebenden Versuchstier erzielt werden.

Andererseits ist ein verstärktes Interesse der Öffentlichkeit an der Reduzierung von Tierversuchen offenkundig. Dieses Interesse hat auch Gültigkeit für die chirurgische Ausbildung und ist legitim, wenn das gleiche Ausbildungsziel unter Anwendung von Alternativmethoden erreicht werden kann.

Für den Anfänger der Mikrochirurgie hat die Zwischenschaltung eines Ausbildungsprogramms am toten Organ mehrere Vorteile. Zum einen

entfällt die Anmelde- und Begründungspflicht der Übungen nach dem Tierversuchsgesetz; die Organisation der Übung wird somit zunächst erleichtert. Zum andern verringert sich die unmittelbare Vorbereitungszeit der Übung, da die Narkotisierung etwaiger Versuchstiere entfällt. Tote Organe können auch in Gefrierschränken zwischengelagert werden, und somit ist es möglich, die Übungszeiten flexibel zu gestalten (Sucur et al., 1981; Freys und Koob, 1988).

Die beschriebenen Alternativmodelle sind in der Regel auch bedeutend billiger als lebende Versuchstiere, und somit ergibt sich zusätzlich ein finanzieller Vorteil für die Ausbildung. Der Lerneffekt für den Auszubildenden ist hoch, selbst wenn man berücksichtigt, daß der natürliche Blutstrom fehlt und eine Konsistenzänderung der Gewebe eintritt. Gerade in kleineren Einheiten ohne unmittelbaren Zugang zu einer Tierversuchsanlage ergeben sich dadurch eine Fülle von Vorteilen.

Nach Ansicht der Autoren erscheinen für das Training der Mikrogefäßanastomose die Koronargefäße des Schweineherzens so gut geeignet, da einerseits verschiedene Gefäßdurchmesser für die Übungen verwendet werden können und andererseits dieses Trainingsmodell überall leicht zu beziehen ist.

Für das Training der mikrochirurgischen Nervennaht-Techniken dürfte das Nervenmodell des Schweinevorderlaufes (Steffens et al., 1992) gegenüber anderen Nervenpräparationen an toten Organen, wie etwa dem Hühnerschenkel (Sucur et al., 1981), eindeutig Vorteile aufweisen, da bei diesem Modell reichlich polyfaszikuläre Nerven vorhanden sind.

Nach Durchführung des Trainingsprogramms am toten Organ müssen dann die weitere Ausbildung und das Training der mikrochirurgischen Techniken nach wie vor am lebenden Versuchstier erfolgen, da nur dadurch absolut realitätsnahe Situationen wiedergegeben werden können (Kröpfl, 1993). Auch Langzeitergebnisse sowie etwaige Forschungser-

gebnisse sind in der Mikrochirurgie nur am narkotisierten Versuchstier zu erreichen.

Durch die Verwendung der beschriebenen Lern- und Trainingsmodelle läßt sich jedoch die Zahl der Tierversuche in der mikrochirurgischen Ausbildung deutlich reduzieren, wodurch ein offenkundiger Beitrag zum Tierschutz geleistet werden kann.

Literatur

- Austin, G. T., Hammond, F. W., Schaberg, S. J. und Scharpf, H. O. (1983). A laboratory model for vascular surgery. *J. Oral Maxillofac. Surg.* 41, 450–455
- AVTRW, (1989). *Guidelines for the recognition and assessment of pain in animals, prepared by a working party of the association of veterinary teachers and research workers*. London: Universities Federation for Animal Welfare (UFAW).
- Ayoubi, S., Ward, P., Naik, S. und Sankaran, M. (1992). The use of placenta in a microvascular exercise. *Neurosurgery* 30, 252–254
- Ballantyne, D. L., Reiffel, R. S. und Harper, A. D. (1980). A systematic learning program for microvascular technique. *Plast. Reconstr. Surg.* 65, 80–82
- Berger, A. und Tizian, C. (1985). *Technik der Mikrochirurgie*. Berlin Heidelberg New York: Springer.
- Biemer, E. und Duspiva, W. (1980). *Rekonstruktive Mikrogefäßchirurgie*. Berlin Heidelberg New York: Springer.
- Bittner, K. (1977). Die Regio femoralis der Ratte zum Üben mikrochirurgischer Gefäß- und Nerven Anastomosen. *Dtsch. zahnärztl. Z.* 32, 830–833
- Brunelli, G. (1980). The organisation of a microsurgical service. *Int. Surg.* 65, 6, 489–490
- Buncke, H. J. und Schulz, W. P. (1966). Total ear reimplantation in the rabbit utilising microminiature vascular anastomoses. *Brit. J. Plast. Surg.* 19, 15
- Carrel, A. (1907). The surgery of blood vessels. *Bull. Johns Hopkins Hosp.* 18, 25
- Cohen, S. A. (1979). Letter to the

- editor. *J. Royal Coll. Surg. Edinburgh* 24, 169
- Derman, G. H. und Schenk, R. R. (1977). Microsurgical technique – fundamentals of the microsurgical laboratory. *Orthop. Clin. N. Amer.* 8, 229–248
- Freys, S. M. und Koob E. (1988). Ausbildung und Training in der Mikrochirurgie. *Handchirurgie* 20, 11–16
- Fuhse, J. und Battke, H. (1982). Mikrochirurgische tierexperimentelle Studien als Vorbereitung für Fertilitätseingriffe am reproduktiven System des Mannes. *Z. Urol. Nephrol.* 75, 5, 347–358
- Goldstein, M. (1979). Use of fresh human placenta for microsurgical training. *J. Microsurg.* 1, 70–71
- Gordon, L. und Buncke, H. J. (1977). Models and techniques for microsurgical research. *Orthop. Clin. N. Amer.* 8, 273–280
- Govila, A. (1981). A simple model on which to practice microsurgical technique: A fresh chicken. *Brit. J. Plast. Surg.* 34, 486–487
- Govila, A. und Sharma, D. (1990). Microsurgical practice on avulsed skin. *Br. J. Plast. Surg.* 43, 250–251
- Green, C. J. (1990). Organisation of microsurgical laboratory. *Br. J. Plast. Surg.* 43, 641–644
- Greenhalgh, R. M., Rossi, A. L. F. und Hoare, M. R. (1981). The precise technique of end to side microvascular anastomosis with a suitable experimental model. *Ann. Royal Coll. Surg. Engl.* 6, 28–30
- Karl, P., Tilgner-Peter, A. und Heiner, H. (1977). Ein Arbeitsplatz für mikrochirurgische Eingriffe an der Ratte. *Z. Versuchstierk.* 19, 312–315
- Kröpfl, A. und Primavesi, Ch. (1990). Mikrochirurgische Ausbildungs- und Trainingsmöglichkeiten ohne Versuche am lebenden Tier. *Der Praktische Arzt* 44, 1184–1190
- Kröpfl, A., Primavesi, Ch. und Gasperschitz, F. (1992). Erfahrungen mit mikrochirurgischen Ausbildungsmöglichkeiten ohne Versuche am lebenden Tier. In H. Schöffl, R. Schulte-Hermann und H.A. Tritthart (Hrsg.), *Möglichkeiten und Grenzen der Reduktion von Tierversuchen* (174–175). Wien New York: Springer.

- Kröpfl, A. (1993). Mikrochirurgische Ausbildungs- und Trainingsmöglichkeiten ohne Versuche am lebenden Tier. In: H. Schöffl, H. Spielmann, F. P. Gruber, B. Koidl und Ch. A. Reinhardt (Hrsg.), *Alternativen zu Tierversuchen in Ausbildung, Qualitätskontrolle und Herz-Kreislaufforschung* (78–81). Wien New York: Springer.
- Kröpfl, A., Primavesi, Ch. und Gasperschitz, F. (1993). Mikrochirurgische Ausbildungs- und Trainingsmöglichkeiten ohne Versuche am lebenden Tier. *Hefte zu Der Unfallchirurg* 230, 1562–1563
- Lee, S., Diez-Pardo, J., Olszewski, W., Rowinski, W., Hirner, A., Brekke, I., Swedenborg, J., Flatmark, U., Häring, A., Nylander, G. und Orloff, M. J. (1981). An improved microsurgical course for a mixed group of surgeons. *World J. Surg.* 5, 285–294
- Lee, S. und Coppersmith, W. J. (1983). A microvascular surgical practice disc for beginners. *Microsurg.* 4, 67–69
- McGregor, J. C. (1980). The use of the placenta for microvascular surgical practice. *J. Royal Coll. Surg.* 25, 233
- McGregor, J. C., Wyllie, F. J. und Grigor, K. M. (1983). Some anatomical observations on the humane placenta as applied to microvascular surgical practice. *Brit. J. Plast. Surg.* 36, 387
- Mehdorn, H. M. und Müller, G. H. (1987). *Mikrochirurgische Übungen*. Stuttgart New York: Thieme.
- Miklic, P., Oppel, F. und Brock, M. (1980). Intercarotid anastomosis with a vein graft in the rat. *Arq-Neuropsychiatr.* 38, 2, 125–134
- Millesi, H. (1980). Mikrochirurgie. *Helv. chir. Acta* 47, 797–811
- Oison, W. A. (1987). *Reconstructive microsurgery*. Edinburgh: Churchill Livingstone.
- Oelsner, G., Boeckx, W., Verhoeven, H., Koninckx, Ph. und Brosens, I. (1985). The effect of training in microsurgery. *Am. J. Obstet. Gynecol.* 152, 1054–1058
- Pfander, A. (1980). Zum Training der mikrochirurgischen Gefäßanastomose. *Handchirurgie* 12, 59–60
- Phillips, J. M. und Winchester, W. J. (1980). Teaching microsurgery to gynecologists. *Clin. Obstet. Gynecol.* 23, 1163–1176
- Quinlan, D. K. und De Villiers, K. Q. (1981). The organisation of a microsurgical unit. *SA Med. J.* 62, 281–284
- Rosenbaum, T. J. und Sundt, T. M. (1976). Neurovascular microsurgery, a model for laboratory investigation and the development of technical skills. *Mayo Clin. Proc.* 51, 301–306
- Russell, W. M. S. und Burch, R. L. (1959). *The principles of humane experimental technique*. London: Methuen.
- Shearin, J. C., Serafin, D. und Georgiade N. D. (1966). Microvascular anastomosis: An experimental model utilising the rabbit ear. *Plastic Reconstr. Surg.* 58, 454–458
- Shihua, Li, Ph., Schlegel, P. N. und Goldstein, M. (1992). Use of silicon medical grade tubing for microsurgical vasovasostomy training. *Urology* 39, 556–57
- Stauffacher, M. (1992). Tierschutzorientierte Labortierethologie – ein Konzept. *ALTEX Nr. 17*, 6–29
- Stauffacher, M. (1993). Tierschutzorientierte Labortierethologie in der Tiermedizin und in der Versuchstierkunde – ein Beitrag zum Refinement bei der Haltung von und im Umgang mit Versuchstieren. In: H. Schöffl, H. Spielmann, F. P. Gruber, B. Koidl und Ch. A. Reinhardt (Hrsg.), *Alternativen zu Tierversuchen in Ausbildung, Qualitätskontrolle und Herz-Kreislaufforschung* (6–21). Wien New York: Springer.
- Steffens, K., Hong, G. und Koob, E. (1992). Ein realitätsnahes Übungsmodell zur Erlernung der mikro-neuralen Chirurgie ohne Experimente am lebenden Tier. *Handchir. Mikrokhir. Plast. Chir.* 24, 310–314
- Stock, A. und Oesterwitz, H. (1983). Technik der Mikrogefäßchirurgie; Der Leistenbeugelappen der Ratte als Übungsmodell. *Zbl. Chirurgie* 108, 761–765
- Sukur, D., Konstantinovic und P., Potparic, Z. (1981). Fresh chicken leg: An experimental model for the microsurgical beginner. *Brit. J. Plast. Surg.* 34, 488–489
- Szpakowski, M. (1974). Morphology of arterial anastomoses in the human placenta. *Folia Morphologica* 33, 53
- UFAW (1989a). *Guidelines on the care of laboratory animals and their use for scientific purposes II – pain, analgesia and anaesthesia*. London: Universities Federation for Animal Welfare
- UFAW (1989b). *Guidelines on the care of laboratory animals and their use for scientific purposes III – surgical procedures*. London: Universities Federation for Animal Welfare
- Waterhouse, N., Moss, A. L. H. und Townsend P.L.G. (1985). The development of a dynamic model for microvascular research and practice using humane placenta: A preliminary report. *Brit. J. Plast. Surg.* 38, 389–393

Adressen

H. Schöffl
AFTF, Postfach 210
A-4021 Linz

A. Kröpfl
Unfallkrankenhaus Salzburg
Franz Rehr Platz 5
A-5010 Salzburg