



ESCOLA UNIVERSITÁRIA VASCO DA GAMA

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA VETERINÁRIA

Métodos de Ensino de Microcirurgia em Medicina Veterinária

Francisco Miguel Costa Cunha Batalha

Coimbra, julho de 2020



ESCOLA UNIVERSITÁRIA VASCO DA GAMA

MESTRADO INTEGRADO EM MEDICINA VETERINÁRIA

Métodos de Ensino de Microcirurgia em Medicina Veterinária

Coimbra, julho de 2020

Francisco Miguel Costa Cunha Batalha

Aluno do Mestrado integrado em Medicina Veterinária

Constituição do Júri

Presidente do Júri: Prof. Doutora Liliana Montezinho

Arguente: Prof. Doutor Marcos Barbosa

Orientador: Prof. Doutora Ana Calado Lopes

Orientador Interno

Prof. Doutora Ana Calado Lopes

Orientador Externo

Mestre Cristiane de Carvalho Lima
Clínica Veterinária Caofraria dos Bichos

Dissertação do Estágio Curricular do Ciclo de Estudos Mestrado para reconhecimento de Grau de
Mestre em Medicina Veterinária na Escola Universitária Vasco da Gama.

Índice

Índice de Figuras.....	v
Índice de Tabelas	vi
Resumo.....	2
Abstract.....	3
1. Introdução.....	4
2. Perspetiva histórica da microcirurgia.....	6
3. A ética no ensino/treino da microcirurgia	8
4. Técnicas frequentemente usadas em microcirurgia.....	10
4.1. Técnicas usadas em microcirurgia vascular.....	10
4.2. Técnicas usadas em anastomose nervosa	13
5. Modelos para treino de microcirurgia	14
5.1. Modelos de treino em materiais sintéticos	14
5.2. Modelos de treino em tecido <i>ex vivo</i>	22
5.3. Modelos de treino <i>in vivo</i>	26
6. Ergonomia e instrumentos em microcirurgia.....	29
7. Conclusão	32
8. Agradecimentos.....	33
9. Bibliografia.....	34

Índice de Figuras

Figura 1- Lupas prismáticas de Von Eicken da Leitz Company em 1923. Adaptado de Schultheiss & Denil, 2002.	7
Figura 2- Anastomose topo a topo num modelo de rato. A) Após a passagem da aorta abdominal e o corte da adventícia, dois pontos de permanência foram colocados na posição das 0 e 6 horas. B) A parede anterior foi suturada primeiro usando uma sutura simples interrompida ou em espiral. C) Após suturar a parede posterior e libertar a pinça do vaso, avalia-se perfusão sanguínea e a patência do vaso. Adaptado de Yin <i>et al.</i> , 2019.	11
Figura 3- Exemplos de anastomoses topo a lado num modelo de rato. A) As suturas de fixação são colocadas nas duas extremidades da artéria recetora e as suturas de <i>nylon</i> são preparadas para que não se cruzem. B) Um clipe temporário é inserido e uma agulha de injeção de 30g é usada para realizar a arteriotomia. C) Uma tesoura é inserida neste local para ampliar a arteriotomia. D) Uma linha de incisão fina deve ser feita levantando a tesoura e cortando com uma leve tensão na parede arterial. E) Após a arteriotomia, uma sutura de fixação é feita no vaso. F) Para evitar suturar erradamente o lado contralateral, a artéria doadora é colocada na artéria recetora. O campo operatório é configurado com a artéria recetora na posição 10 a 11 horas. G) e H) A artéria doadora é levantada com a mão esquerda de dentro do vaso receptor e o vaso é preso com a agulha na mão direita. I e J) A adventícia da artéria recetora é segura com a mão esquerda e colocada na agulha. K) Na sutura final, soro fisiológico heparinizado é adicionado ao vaso e este é insuflado, e o equilíbrio geral é confirmado. L) Após a conclusão da anastomose, o fluxo é confirmado. Adaptado de Mikami <i>et al.</i> , 2018.	12
Figura 4 - Técnica de anastomose lado a lado usando artérias ilíacas comuns bilaterais de um modelo de rato. A) As artérias ilíacas comuns bilaterais distais foram justapostas e presas com um clipe de aneurisma. B) Arteriotomias longitudinais foram feitas nas paredes laterais e os pontos de fixação foram colocados nas posições de 3 e 9 horas. C) Sutura da parede posterior. D) Fecho da parede anterior com a técnica de sutura contínua. Adaptado de Yin <i>et al.</i> , 2019.	13
Figura 5 - Vários tipos de treino em modelos sintéticos A) Sutura em latex, B) Sutura em silástico, C) Sutura em tubo, D) Sutura em borracha, E) Sutura em folha, F) Sutura em pétalas. Adaptado de Lascar <i>et al.</i> , 2007.	14
Figura 6 - Fotografia das veias da cavidade abdominal do PVC Rat®. Adaptado de Spetzger <i>et al.</i> , 2011.	21
Figura 7 - Abordagem pterional de crânio de plástico no PVC Rat®. Observa-se retração do cérebro de plástico macio, abrindo a fissura silviana. Uma anastomose de ponta a ponta foi realizada com os vasos de plástico altamente elástico. Adaptado de Spetzger <i>et al.</i> , 2011.	21
Figura 8 - PVC Rat® com tubo de plástico fixado. O tubo foi fixado a um sistema retrator flexível convencional e reduz o espaço de trabalho e o campo operatório. Nesse espaço de trabalho focado, o nível de dificuldade para realizar uma anastomose aumenta significativamente. Adaptado de Spetzger <i>et al.</i> , 2011.	21
Figura 9 - Modelo da asa de galinha a) Anastomose topo a topo arterial. B) Anastomose topo a lado arterial. C) Anastomose lado a lado arterial. D) Anastomose topo a topo arteriovenosa. E) Anastomose topo a lado arteriovenosa. F) Anastomose lado a lado do nervo. Adaptado de	24
Figura 10 - Anastomose vascular em língua de boi. A) Primeira anastomose numa língua de boi. B) Quinta anastomose num modelo de língua de boi. Adaptado de Camargo <i>et al.</i> , 2017.	25
Figura 11- Estruturas anatómicas da língua do boi. A linha azul horizontal mede 1,5 cm da linha média. As setas vermelhas são artérias. As setas azuis são veia. Adaptado de Camargo <i>et al.</i> , 2017.	26
Figura 12- Visão com auxílio de microscópio cirúrgico da dissecação da artéria e da veia femoral, que estão cateterizadas com dispositivo flexível de teflon. Adaptado de Kinshoku <i>et al.</i> , 2012.	27
Figura 13- Anastomose de lado a lado: artéria femoral na veia femoral. Adaptado de Shurey <i>et al.</i> , 2014.	28
Figura 14- Anastomose epineural do nervo ciático de rato. Adaptado de Shurey <i>et al.</i> , 2014.	28
Figura 15- Posição confortável e correta do microcirurgião numa cadeira de altura ajustável. A) os pés do microcirurgião apoiados numa superfície plana. B) as costas e pescoço do microcirurgião devem estar direitos e relaxados com os ombros direitos a evitar abdução. C) antebraço, pulso, mão e dedos estão bem suportados usando um apoio de braço e com estruturas fixas e estáveis à volta (seta). D) firmeza na manipulação dos instrumentos. Adaptado de Yadav, Parihar, Ratre, Kher, & Iqbal, 2015.	29
Figura 16- Os instrumentos mínimos necessários para treino de microcirurgia. A e b) microscópio com braço móvel, dois pinças de joalheiro, tesoura de iris, pinças de alligator e gauze. C) micro tesouras e tesoura de iris. D) as pontas das tesouras de iris e micro tesouras são semelhantes, sendo boas ferramentas para treinar com gaze, veias artificiais e no rato. Adaptado de Chung, Ryu, Chung, Lee, & Choi, 2017.	30

Índice de Tabelas

Tabela 1- Vantagens e desvantagens dos modelos sintéticos de treino e ensino da microcirurgia.....	18
Tabela 2 - Vantagens e desvantagens dos modelos <i>ex vivo</i> no ensino e treino da microcirurgia.....	23

Métodos de ensino de microcirurgia em medicina veterinária

Francisco Batalha ^a, Ana Calado ^b

^a Departamento de Medicina Veterinária, Escola Universitária Vasco da Gama, Av. José R. Sousa Fernandes 197, Campus Universitário - Bloco B, Lordemão, 3020-210, Coimbra, Portugal (franciscobatalha94@gmail.com)

^b Centro de Investigação Vasco da Gama, Av. José R. Sousa Fernandes 197, Campus Universitário - Bloco B, Lordemão, 3020-210, Coimbra, Portugal (anacaladolopes@gmail.com)

Resumo

Na Medicina Veterinária, a microcirurgia é uma área em crescimento que está a ganhar reconhecimento enquanto subespecialidade de cirurgia. Trata-se de uma técnica recente, com início na década de 60, sendo necessário uma boa formação e dedicação para se atingirem bons resultados. Este trabalho pretende resumir os métodos de ensino e treino que podem ser usados na formação em microcirurgia, tendo-se considerado o tempo de treino, as condições éticas, o preço e a disponibilidade dos diferentes materiais, para além das vantagens e desvantagens dos métodos abordados.

Atualmente existem inúmeros modelos para o treino e formação em microcirurgia que podem ser sistematizados em modelos sintéticos, modelos *ex vivo* e modelos *in vivo*, apresentando, cada um, a sua importância e aplicação na prática microcirúrgica. Existe um consenso geral de que o treino de microcirurgia deve começar com modelos simples, de baixo custo e inanimados, pois as dificuldades no desempenho motor e visual são superadas pela aprendizagem de novas habilidades. Outro aspeto a considerar é a ética associada à utilização de animais que cada vez mais preocupa a sociedade, sendo por isso importante a aplicação do princípio, genericamente conhecido, dos 3R's. Os modelos sintéticos não só reduzem o número de animais vivos necessários para o treino de microcirurgia, mas também fornecem uma alternativa de baixo custo e facilmente disponível para um treino contínuo. O ensino divide-se em várias fases, começando por modelos simples que familiarizam o aluno com o microscópio e instrumentos, como a manipulação básica, movimento e orientação no campo microscópico, colocação e realização de nós e aposição de bordos. Passa depois para o treino das técnicas de sutura sob o microscópio em modelos *ex vivo*, sendo estes mais realistas e mais tarde a cirurgia em animais vivos, nomeadamente em rato. Neste modelo podem-se treinar as técnicas de anastomose em artérias, veias e nervos, sendo por isso a última etapa do treino.

A ergonomia em microcirurgia é um aspeto importante, uma vez que as cirurgias nesta área são normalmente muito longas, sendo necessário conhecer e manter uma postura correta e fazer pausas frequentes, de modo a evitar lesões e fadiga no cirurgião.

No planeamento do ensino da microcirurgia devem ser considerados os meios físicos onde se irá aprender ou treinar as diversas técnicas e, por isso, a sua escolha deverá ser consciente tendo em conta a prática anterior dos formandos, a ética e o preço. Estando esta subespecialidade em crescimento, torna-se assim importante introduzi-la no curso de medicina veterinária de modo a que os alunos se familiarizem com as suas potencialidades e limitações e possam adquirir competências práticas baseadas num treino gradativo e eficaz da microcirurgia.

Palavras-chave: microcirurgia; modelos de treino; medicina veterinária; modelos sintéticos; modelos *in vivo*; modelos *ex vivo*.

Abstract

In Veterinary Medicine, microsurgery is a growing area that is gaining recognition as a sub-specialty of surgery. It is a recent technique, beginning in the 60s, that requires a good training and dedication to achieve good results. This work aims to summarize the teaching and training methods that can be used in microsurgery training, considering the time spent on training, ethical conditions, price and availability of different materials, in addition to the advantages and disadvantages of the methods covered.

Currently, there are numerous models for training and education in microsurgery that can be systematized in synthetic models, *ex vivo* models and *in vivo* models, each presenting its importance and application in microsurgical practice. There is a general consensus that microsurgery training should start with simple, low-cost and inanimate models, as difficulties in motor and visual performance are overcome by learning new skills. Another aspect to consider is the ethics associated with the use of animals, as society is more aware and concerned about it, which is why it is important to apply the generally known principle of the 3R's. Synthetic models not only reduce the number of necessary live animals for microsurgery training, but they also provide a low cost and easily available alternative for continuous training.

Teaching is divided into several stages, starting with simple models that familiarize the student with the microscope and instruments, such as basic manipulation, movement and orientation in the microscopic field, placement of knots and apposition of edges. Then moves on to training suture techniques under the microscope in *ex vivo* models, which are more realistic and finally surgery on live animals, mostly on mice. In this model, anastomosis techniques in arteries, veins and nerves can be trained, which is why it is the last stage of training.

Ergonomics in microsurgery is an important aspect, since surgeries in this area are usually very long, being necessary to know and maintain a correct posture and to take frequent breaks, in order to avoid injuries and fatigue in the surgeon.

When planning the teaching of microsurgery, the physical means in which you will learn or train the different techniques must be considered and, therefore, your choice must be conscious taking into account the trainee's previous practice, ethics and price. As this sub-specialty is growing, it is therefore important to introduce it in the veterinary medicine course so that students become familiar with its potentials and limitations and can acquire practical skills based on a gradual and effective training in microsurgery.

Key-words: microsurgery; training models; veterinary medicine; synthetic models; *in vivo* models; *ex vivo* models.

1. Introdução

A microcirurgia é uma técnica cirúrgica fundamental, sobretudo na reconstrução de tecidos (Grober *et al.*, 2003). As suas principais intervenções visam restituir a perfusão sanguínea e a enervação dos tecidos, através de anastomoses vasculares e nervosas e, por esse motivo, combina o desafio único de processar informações visuais complexas com uma manipulação motora cuidadosa onde é fundamental a acuidade visual estereoscópica, que é um subproduto da boa visão binocular, na qual imagens separadas de dois olhos são combinadas com sucesso numa imagem tridimensional no cérebro (Grober *et al.*, 2003). A destreza é um pré-requisito básico para se realizar um procedimento microcirúrgico com um adequado manuseamento dos instrumentos, estabilidade e controlo do tremor (Chan, Niranjana, & Ramakrishnan, 2009).

Nas anastomoses vasculares, o correto manuseamento do tecido é importante para minimizar a ocorrência de lesões e reduzir o risco de trombose (Chan *et al.*, 2009). A capacidade visual-espacial é necessária na dissecação da parede do vaso, na colocação da sutura e no aperto dos nós, que requerem precisão para evitar prender a parede posterior e o emaranhamento da sutura (Chan *et al.*, 2009). A técnica do nó e o aperto sob o microscópio dependem sobretudo da acuidade visual e da sensação tátil, como na cirurgia macroscópica (Chan *et al.*, 2009).

A microcirurgia é uma parte integrante de todas as subáreas cirúrgicas (Usón-Gargallo, Viguera-Salvago, & Calles-Vázquez, 2004). É uma técnica com exigências especiais que requer dedicação e tempo de aprendizagem onde o cirurgião deve dedicar tempo de aprendizagem e treino para conseguir atingir bons resultados técnicos (Usón-Gargallo *et al.*, 2004). A maioria das intervenções microvasculares pode ser conseguida com treino em ambiente laboratorial (Camargo, e Silva, Maluf, Moraes-Besteiro, & Gemperli, 2017). O treino de cirurgias de microcirurgia em pequenos animais de laboratório requer capacidades únicas e refinadas baseadas em princípios cirúrgicos diferentes das da cirurgia geral (Grober *et al.*, 2003). É necessária visão estereoscópica, habilidades visuais e espaciais avançadas, e um princípio de destreza, que contribuem para a curva de aprendizagem necessária em microcirurgia (Grober *et al.*, 2003).

Tradicionalmente o treino da microcirurgia exige que o aluno trabalhe continuamente no microscópio, sob a supervisão de um tutor melhoraria do desempenho (Usón-Gargallo *et al.*, 2004). Aprender com alguém mais experiente é ainda visto como o Gold Standard do ensino (Ilie *et al.*, 2008). No entanto, praticar em simuladores está a ser validado como uma ferramenta importante (Ilie *et al.*, 2008) devido à crescente preocupação com a ética animal, assim como os elevados custos do treino com animais *in vivo* (Trignano, Fallico, Zingone, Dessy, & Campus, 2017). Existe um consenso generalizado de que o treino de microcirurgia deve começar com modelos simples, baratos e inanimados, pois as dificuldades no desempenho motor e visual são superadas pela aprendizagem de novas competências (Ilie *et al.*, 2008). Um dos principais objetivos do treino é a aquisição de suficiência técnica e físico-motora, de modo a realizar procedimentos microcirúrgicos com um alto nível de segurança, para se obterem bons resultados (Usón-Gargallo *et al.*, 2004).

Um modelo de simulação básico é necessário para que os alunos aprendam a manipular os instrumentos microcirúrgicos e a realizar disseção de vasos de forma segura e ainda anastomose vascular (Trignano *et al.*, 2017). Vários modelos não vivos, sintéticos e ex-vivo, estão descritos em literatura como almofadas de borracha, luvas de latex, tubos de silicone, vasos de rato criopreservados (Rodríguez, Yañez, Cifuentes, Varas, & Dagnino, 2016), assim como asas e coxas de galinha (Mikami *et al.*, 2018).

Estes modelos não só reduzem o número de animais vivos usados para a formação, como também fornecem alternativas de treino mais económicas, acessíveis para um treino contínuo e prontamente disponível (Rodríguez *et al.*, 2016), estando por isso totalmente alinhado com os princípios da redução, substituição e refinamento, também conhecidos pelos princípios dos 3Rs.

Modelos *in vivo* em rato (*Rattus norvegicus domestica*) continuam a ser considerados muito úteis devido à sua semelhança com a prática clínica real, tendo contudo as desvantagens da anestesia e da manutenção destes animais, para além das questões de éticas e bem-estar animal (Evgeniou, Walker, & Gujral, 2018).

O objetivo deste trabalho é descrever os diferentes modelos para o treino e ensino da microcirurgia, uma área que está em crescimento, sendo por isso muito importante que passe a constar dos conteúdos programáticos no ensino da medicina veterinária, conferindo aos alunos competências em técnicas básicas de introdução à microcirurgia.

2. Perspetiva histórica da microcirurgia

Na década de 60 do século XX, a microcirurgia teve um grande desenvolvimento, quando novas técnicas cirúrgicas e imagem de amplificada do campo operatório foram introduzidas na cirurgia vascular, por via de uma série de procedimentos experimentais (Badash, Gould, & Patel, 2018). Durante o processo de desenvolvimento da microcirurgia, as técnicas de anastomose vascular e a introdução do microscópio foram indispensáveis (Pang, Zhu, He, Liu, & Zhu, 2018). Lambert suturou uma ferida arterial em 1762 e J.B.Murphy realizou com sucesso uma anastomose vascular do tipo topo a topo em 1879 (Pang *et al.*, 2018). À medida que a patologia se tornou cada vez mais importante para a prática cirúrgica, no final do século XIX, os cirurgiões usaram a ampliação para facilitar a disseção de tecidos (Pastuszak, Wenker, & Lipshultz, 2015). Charles Louis Chevalier, um oculista francês, construiu pela primeira vez uma lupa que poderia ser usada durante a cirurgia, ampliando objetos 10 vezes a uma distância de 7 cm (Pastuszak *et al.*, 2015). Em 1886, Carl Wilhelm Von Zehender, um oftalmologista alemão, modificou um binóculo zoológico e colocou-o num tripé, criando um protótipo de microscópio cirúrgico, para além de ser também o precursor da lâmpada de fenda (Pastuszak *et al.*, 2015).

Posteriormente o vencedor do prémio nobel, Alexis Carrel, reportou a técnica de triangulação para anastomoses vasculares topo a topo em 1902, que tiveram um impacto significativo na anastomose vascular, e que ainda é usado nos procedimentos atuais (Pang *et al.*, 2018). Simultaneamente, muitas pessoas realizaram pesquisas intensivas sobre anastomose vascular depois de Lowen Berg ter reportado os seus resultados em canídeos (Pang *et al.*, 2018). No entanto, a taxa de sucesso foi insatisfatória sem a assistência de um microscópio (Pang *et al.*, 2018).

A Zeiss Company introduziu, em 1912, um conjunto binocular mais leve de lupas operacionais usadas como óculos (Pastuszak *et al.*, 2015). Em 1923, a Leitz Company introduziu uma lupa prismática (Figura 1), que permitia a divisão de feixes, permitindo que os assistentes compartilhassem a mesma visão que o cirurgião, facilitando o ensino da técnica cirúrgica e a captura de imagens fotográficas (Pastuszak *et al.*, 2015).

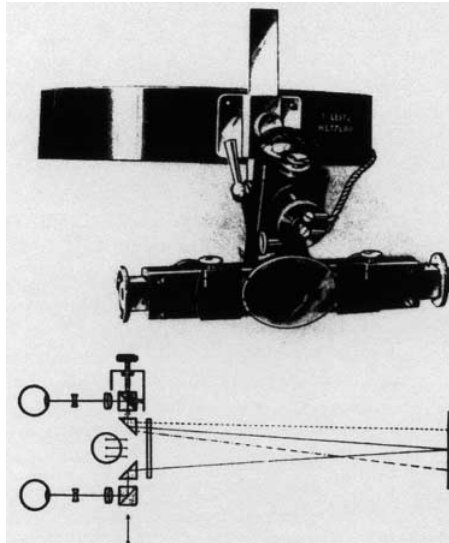


Figura 1- Lupas prismáticas de Von Eicken da Leitz Company em 1923. Adaptado de (Schultheiss & Denil, 2002).

Os cirurgiões de otorrinolaringologia foram os primeiros a reconhecer a necessidade da alta ampliação em procedimentos operativos de ouvido (Schultheiss & Denil, 2002). Na primavera de 1921, Carl Olof Nyl'em, um assistente na universidade de Estocolmo, modificou um microscópio monocular Brinell-Leitz usado em campo intraoperatório em animais, e realizou a primeira operação de ouvido humana em novembro do mesmo ano (Schultheiss & Denil, 2002).

Em 1946, o oftalmologista americano Richard Perritt usou um microscópio operatório binocular de seu colega otorrinolaringologista, Ge Shambaugh, para uso durante uma operação ocular. (Pastuszak *et al.*, 2015). Posteriormente, outras especialidades, incluindo neurocirurgia e cirurgia plástica, adotaram técnicas microcirúrgicas durante a década de 1960 (Pastuszak *et al.*, 2015). A primeira cirurgia microvascular foi relatada em 1960, quando Jh Jacobson e El Suarez uniram com sucesso duas extremidades de uma artéria carótida canina usando um microscópio (Badash *et al.*, 2018).

3. A ética no ensino/treino da microcirurgia

A educação e o treino em técnicas microcirúrgicas têm contado, historicamente, com a utilização de animais vivos (Schöffl *et al.*, 2008). Os animais têm vindo a ser usados em estudos e investigação por muitos milénios na história (Andersen & Winter, 2017). Há provas que já na Grécia antiga Aristóteles usava animais nos seus estudos (Andersen & Winter, 2017). Mas foi durante os séculos XVIII e XIX que se deu grande o desenvolvimento da cirurgia experimental, com o contributo de muitos cientistas como Jean Baptiste, Van Helmont, Francesco Redi, John Needham, Lazzaro Spallanzani, Lavoisier e Pasteur, a conduzirem ensaios clínicos (Andersen & Winter, 2017). Existem muitas razões éticas, científicas, legais e económicas para garantir que os animais sejam tratados adequadamente e usados o mínimo possível (Harper, Herbst, & Kalfa, 2017), uma vez que, na maioria das vezes, o treino de microcirurgia envolve o uso de animais vivos, é importante que tal prática seja regularmente revista e justificada, estando devidamente legislada e regulamentada a sua utilização (Brown & Rapaport, 2019), havendo uma forte recomendação para que o seu uso seja minimizado e o seu bem-estar seja preservado (Couto, 2011). Não obstante, a investigação com modelos *in vivo* continua a permitir notáveis avanços no conhecimento das ciências da vida (Andersen & Winter, 2017). Os animais contribuíram para o desenvolvimento de novos medicamentos e vacinas, bem como novas técnicas cirúrgicas e protocolos de anestesia (Andersen & Winter, 2017). Tem surgido uma crescente preocupação com o bem-estar dos animais utilizados em experimentação (Andersen & Winter, 2017) e questões sobre a investigação com recurso a animais são atualmente alvo de muita atenção, não só pelos cientistas, mas também por parte da sociedade civil e dos agentes políticos (Gross & Tolba, 2015). Uma crescente consciencialização do conceito de direitos dos animais trouxe um foco maior às questões relacionadas com a ética (Andersen & Winter, 2017). Deste modo, todos os programas de treino de microcirurgia devem seguir princípios básicos de bem-estar animal, prática de investigação laboratorial e educação (Tolba *et al.*, 2017).

Fora da comunidade científica tem crescido um sentimento de que acha que demasiados animais sofrem desnecessariamente em ensaios experimentais (Nikola Biller-Andorno, 2015). Esta maior conscientização do público e uma crescente sensibilidade relativamente à pesquisa científica e à educação médica, pressiona a uma redução significativa no número de animais utilizados na educação cirúrgica e académica (Schöffl *et al.*, 2008). Nos últimos anos têm aparecido inúmeras novas exigências e regulamentações legais que têm vindo a despertar uma discussão sobre o uso de animais para investigação (Gross & Tolba, 2015).

Em 1970 as autoridades americanas observaram várias deficiências no planeamento, desenvolvimento, documentação e documentação dos estudos pré-clínicos. A partir daí desenvolveram-se *Guidelines* de “*Good Laboratory Practice*” (GLP), onde se implementam *standards* internacionais, monitorização e qualidade (Tolba *et al.*, 2017). Na última década desenvolveram-se três princípios básicos, - *Replacement, Reduction and Refinement* - mais conhecidos pelos princípios dos 3Rs, as GLP e os três Cs, *Curriculum, Competence and Clinical Performance* (Tolba *et al.*, 2017).

Os 3 Rs foram propostos por Russell e Burch em 1959 para orientar investigadores e políticas nacionais no sentido da proteção aos animais de laboratório (Harper *et al.*, 2017). Estes princípios referem-se a: substituição (*Replacement*): métodos alternativos que evitam ou substituem o uso de animais em pesquisa para fins científicos; redução (*Reduction*): uso de métodos que permitam aos investigadores obter níveis comparáveis de informações de menos animais ou obter mais informações do mesmo número de animais; e refinamento (*Refinement*): uso de métodos que visam minimizar o *distress* e promover o bem-estar dos animais utilizados (Harper *et al.*, 2017).

A abordagem “aprender fazendo” é considerada inapropriada no treino de microcirurgia devido à frustração que causa no formando, ao número de animais usados e ao tempo gasto (Tolba *et al.*, 2017). O princípio dos três Cs foi sugerido pela primeira vez por Kobayashi em 2015, e referem-se a: Currículo – com foco nos diferentes tipos de modelos e abordagens usados; Competência - baseada em aprendizagem dos procedimentos a um ritmo individual; e Performance Clínica – sendo relevante o tempo de treino gasto e as habilidades obtidas (Tolba *et al.*, 2017).

Muitos especialistas enfatizam que a investigação com animais permanece como uma pequena, mas essencial, parte da pesquisa biomédica (Gross & Tolba, 2015). Na sua opinião, testes sem animais são úteis para pré-triagem antes da fase de testes em animais, o que resulta numa redução, mas não na substituição total dos de animais usados (Gross & Tolba, 2015). No caso dos ensaios em microcirurgia, a reutilização completa não é praticável, daí a importância de refinar técnicas de modo a reduzir o número de animais (Tolba *et al.*, 2017).

4. Técnicas frequentemente usadas em microcirurgia

A anastomose de vasos com alguns milímetros de diâmetro nasceu em 1960 quando Jules Jacobson, da Universidade de Vermont, usando assistência microscópica, realizou a primeira cirurgia microvascular em vasos de 1,4 mm de diâmetro (PRATT et al., 2012). Desde então, os avanços técnicos que permitem a anastomose de vasos sanguíneos e nervos sucessivamente menores têm sido fundamentais para o desenvolvimento das aplicações da microcirurgia (PRATT et al., 2012). A anastomose microvascular tem amplas aplicações no campo de microcirurgia e neurocirurgia (Yin et al., 2019).

4.1. Técnicas usadas em microcirurgia vascular

Algumas das técnicas mais frequentemente usadas em microcirurgia são a anastomose vascular topo a topo e a anastomose vascular topo a lado e a anastomose lado a lado (Yin et al., 2019). O vaso é preparado sob o microscópio e cortes perpendiculares limpos são feitos até às extremidades para anastomose, usando uma tesoura afiada e a adventícia é aparada (PRATT et al., 2012). Os lumens são limpos com cristalóide heparinizado e, se necessário, dilatado suavemente usando vasodilatadores (PRATT et al., 2012). A sutura depois prossegue com o manuseamento luminal mínimo (PRATT et al., 2012). Esta técnica foi refinada, permitindo a anastomose com sucesso de vasos com diâmetros de secção significativamente diferentes e também permitindo anastomose de topo a topo (PRATT et al., 2012). As modernas técnicas de sutura microcirúrgica envolvem o uso de suturas de *nylon* em monofilamento de tamanho muito fino de 8-0 e 12-0, montado em agulhas de corpo redondo afiadas (PRATT et al., 2012).

Técnica de anastomose arterial topo a topo

Depois de preparada a artéria realiza-se uma circuncisão, que consiste no pinçamento da capa adventícia de cada um dos extremos e seccioná-la (G., Sánchez, Calles, & C, 2009). A sutura baseia-se na realização de três pontos guia, dois na parte anterior e um, na parte posterior, sendo que se colocam os restantes pontos ao redor destes para finalizar a sutura (G. et al., 2009). Para se facilitar a visão da parede posterior e não a lesionar, no momento da penetração da agulha, podemos usar uma pinça reta (G. et al., 2009). A agulha deve penetrar de forma perpendicular à parede do vaso (G. et al., 2009). Um exemplo desta anastomose encontra-se na Figura 2.

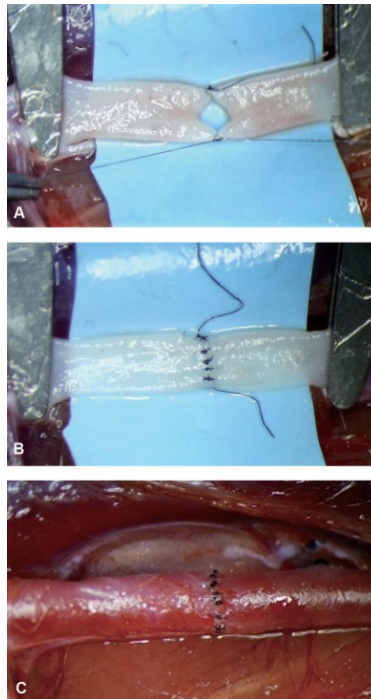


Figura 2- Anastomose topo a topo num modelo de rato. A) Após a passagem da aorta abdominal e o corte da adventícia, dois pontos de permanência foram colocados na posição das 0 e 6 horas. B) A parede anterior foi suturada primeiro usando uma sutura simples interrompida ou em espiral. C) Após suturar a parede posterior e libertar a pinça do vaso, avalia-se perfusão sanguínea e a patência do vaso. Adaptado de (Yin et al., 2019).

Técnica de anastomose venosa topo a topo

Uma vez dissecada a veia desejada, coloca-se uma pinça hemostática (G. et al., 2009). Para esta sutura venosa colocam-se dois pontos guia a 180°, fixando os extremos à pinça hemostática (G. et al., 2009). Nos pontos deve-se ter muito cuidado para que a agulha penetre na parede do vaso em sentido perpendicular, seguindo sempre o sentido da curvatura da agulha (G. et al., 2009). Desta forma evitam-se traumatismos excessivos da túnica média (G. et al., 2009). Colocados os pontos guia evita-se a tensão da sutura e procura-se realizar um alinhamento o mais preciso possível (G. et al., 2009). Uma vez terminada a sutura da parede anterior roda-se a pinça a 180° e inicia-se a sutura da parede posterior (G. et al., 2009). Para isso, coloca-se um ponto na parte média, cuja tração permite uma melhor visão e espaçamento da parede anterior e uma melhor sutura da região posterior (G. et al., 2009). Terminada a sutura, volta-se a lavar o campo cirúrgico e retiram-se as pinças, verificando o fluxo e a sua patência (G. et al., 2009).

Técnica de anastomose arterial topo a lado

Colocam-se as pinças no vaso recetor e abre-se uma superfície da sua adventícia de igual tamanho ao vaso doador (G. et al., 2009). A tesoura deve direccionar a adventícia numa direção paralela ao vaso para evitar lesões noutras túnicas (G. et al., 2009). Aproximando a extremidade do vaso doador até ao orifício do recetor, fixa-se colocando dois pontos nas extremidades, evitando tensão com as

pinças (G. *et al.*, 2009). Esses dois pontos servirão de guia, tentando deixar as pontas longas, caso seja necessário realizar uma tração sobre elas ao longo da sutura (G. *et al.*, 2009). Depois passa-se para a sutura da parede posterior, começando com a colocação de um ponto na parte média, completando o restante em ambos os lados (G. *et al.*, 2009). Finalmente passa-se para a sutura da parede anterior, da mesma forma que foi descrita para a parede anterior (G. *et al.*, 2009). Terminada a sutura verifica-se o fluxo e patência, retirando as pinças hemostáticas. (G. *et al.*, 2009) Figura 3.

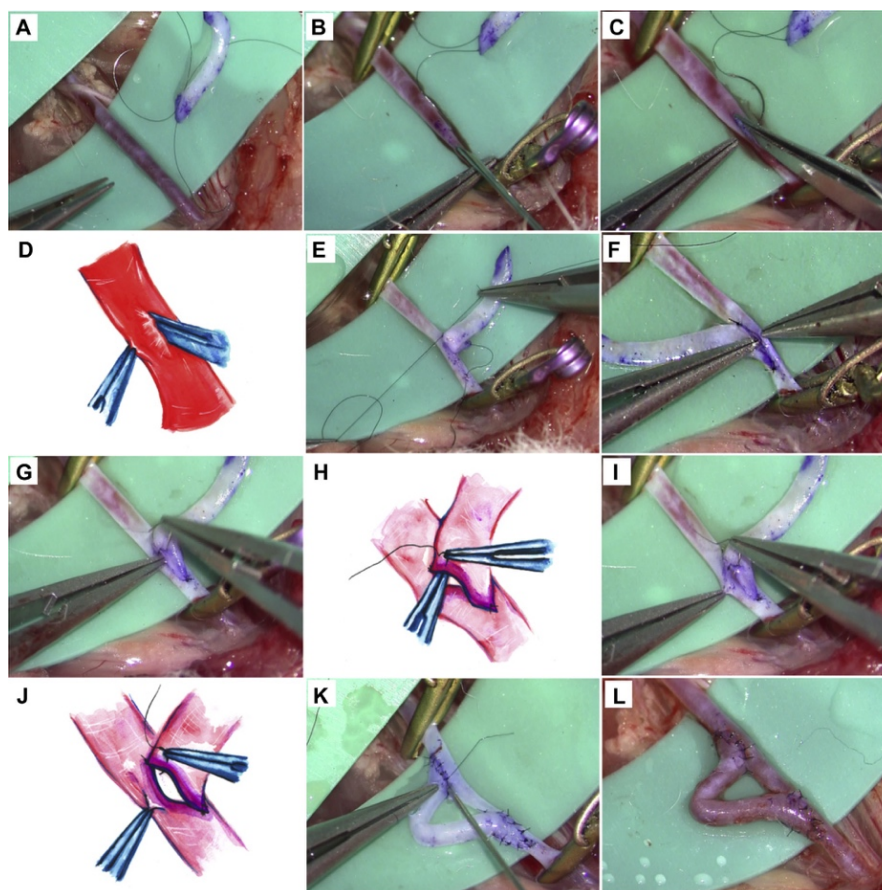


Figura 3- Exemplos de anastomoses topo a lado num modelo de rato. A) As suturas de fixação são colocadas nas duas extremidades da artéria recetora e as suturas de *nylon* são preparadas para que não se cruzem. B) Um clipe temporário é inserido e uma agulha de injeção de 30g é usada para realizar a arteriotomia. C) Uma tesoura é inserida neste local para ampliar a arteriotomia. D) Uma linha de incisão fina deve ser feita levantando a tesoura e cortando com uma leve tensão na parede arterial. E) Após a arteriotomia, uma sutura de fixação é feita no vaso. F) Para evitar suturar erradamente o lado contralateral, a artéria doadora é colocada na artéria recetora. O campo operatório é configurado com a artéria recetora na posição 10 a 11 horas. G) e H) A artéria doadora é levantada com a mão esquerda de dentro do vaso receptor e o vaso é preso com a agulha na mão direita. I e J) A adventícia da artéria recetora é segura com a mão esquerda e colocada na agulha. K) Na sutura final, soro fisiológico heparinizado é adicionado ao vaso e este é insuflado, e o equilíbrio geral é confirmado. L) Após a conclusão da anastomose, o fluxo é confirmado. Adaptado de(Mikami et al., 2018).

Técnica de anastomose lado a lado

As duas artérias devem ser justapostas e presas com um clipe de aneurisma (Yin *et al.*, 2019). Outro clipe deve prender a artéria distal (Yin *et al.*, 2019). De seguida, deve ser feita uma arteriotomia longitudinal nas paredes laterais com um comprimento três vezes o diâmetro arterial e os pontos de fixação colocados nas posições 3 e 9 horas (Yin *et al.*, 2019). Deve-se então depois suturar a parede posterior e parede anterior com uma sutura contínua (Yin *et al.*, 2019). Deve-se verificar a patência e o fluxo (Yin *et al.*, 2019) Figura 4.

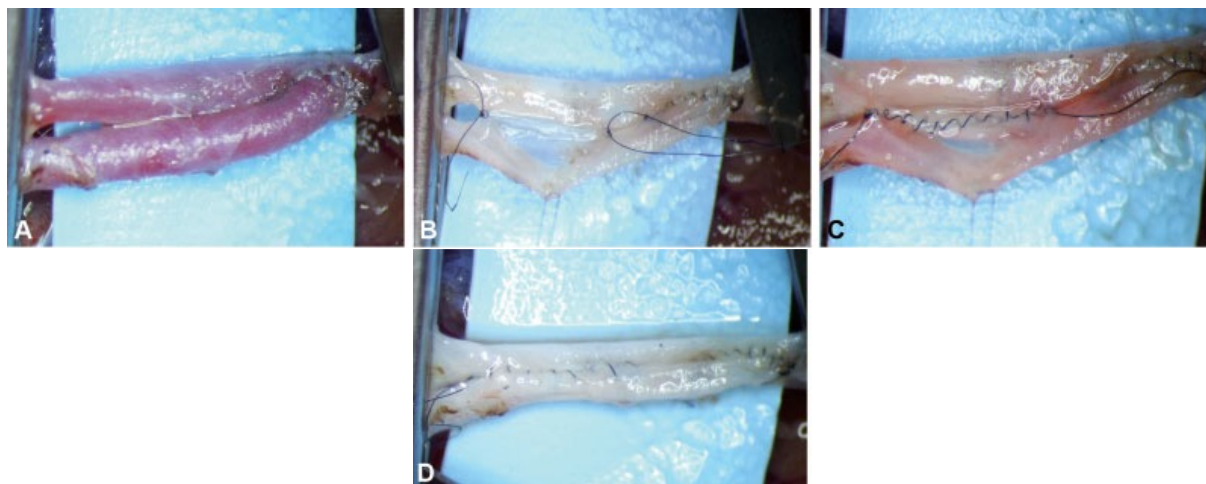


Figura 4 - Técnica de anastomose lado a lado usando artérias ilíacas comuns bilaterais de um modelo de rato. A) As artérias ilíacas comuns bilaterais distais foram justapostas e presas com um clipe de aneurisma. B) Arteriotomias longitudinais foram feitas nas paredes laterais e os pontos de fixação foram colocados nas posições de 3 e 9 horas. C) Sutura da parede posterior. D) Fecho da parede anterior com a técnica de sutura contínua. Adaptado de (Yin *et al.*, 2019).

4.2. Técnicas usadas em anastomose nervosa

A anastomose topo a topo dos ramos nervosos sem tensão é geralmente considerada o *Gold Standard* na reconstrução microcirúrgica do nervo (Konofaos, Bassilios Habre, & Wallace, 2018). As dificuldades inerentes à reconstrução nervosa são exacerbadas quando os ramos nervosos proximais são inacessíveis cirurgicamente ou distantes de alvos musculares funcionalmente importantes (Konofaos *et al.*, 2018). A reparação do nervo topo a lado é uma estratégia potencial para o tratamento de lesões nervosas sem ramo proximal utilizável (Konofaos *et al.*, 2018). O conceito básico da reparação do nervo topo a lado é baseado na obtenção de regeneração das fibras nervosas ao longo do ramo distal de um nervo seccionado, induzindo o surgimento axonal colateral de um nervo saudável vizinho (Konofaos *et al.*, 2018).

A técnica topo a lado consiste no segmento distal do nervo recetor ser aproximado ao nervo doador com um ângulo juncional de 90°, usando um total de 4 suturas epineurais de *nylon* (9-0 ou 10-0) (Konofaos *et al.*, 2018). A coaptação entre o nervo recetor e o doador pode ser feita diretamente na bainha epineural ou através de uma janela epineural ou perineural (Konofaos *et al.*, 2018).

5. Modelos para treino de microcirurgia

Os modelos de treino para anastomose têm sido amplamente descritos na literatura e geralmente podem ser classificados em três categorias: não biológicos/não vivos, biológicos/não vivos e modelos animais *in vivo*. (Safi *et al.*, 2018) Tais modelos são numerosos e incluem um espectro enorme, como cadáveres de ratos, aortas de ratos criopreservados, asas de frango e peru, folhas, casca de uva, placentas, vasos de cadáveres humanos e diferentes estilos de materiais de simulação sintéticos em plástico, látex e silicone que continuam importantes nas fases iniciais do treino (Shurey *et al.*, 2014; Camargo *et al.*, 2017; Olijnyk *et al.*, 2019; Kinshoku *et al.*, 2012). Exemplos podem ser observados na Figura 5. A simulação de microcirurgia é conveniente, não requer classificação ou participação de especialistas, não possui desvantagens éticas como o uso de animais vivos, pode ser adaptada a alunos ou tarefas individuais, é repetível no mesmo nível de habilidade e é escalável para diferentes níveis de habilidade (Theman & Labow, 2016). Também se presta ao tipo de treino periódico de rotina que demonstrou ser benéfico (Theman & Labow, 2016).

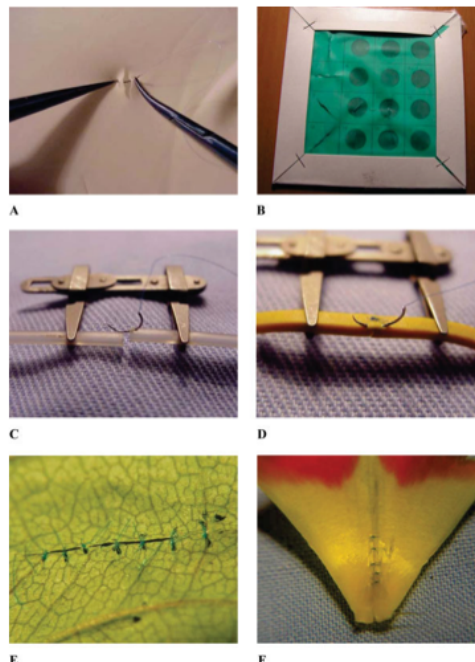


Figura 5 - Vários tipos de treino em modelos sintéticos A) Sutura em latex, B) Sutura em silástico, C) Sutura em tubo, D) Sutura em borracha, E) Sutura em folha, F) Sutura em pétalas. Adaptado de Lascar *et al.*, 2007.

5.1. Modelos de treino em materiais sintéticos

Devido à sua complexidade, a técnica da microcirurgia não pode ser aprendida apenas pela observação e pela realização em casos clínicos pouco frequentes (Woan-Yi Chan, Matteucci, & Southern, 2007). Os alunos necessitam de desenvolver destreza manual altamente refinada, coordenação olho-mão e boa capacidade de resolução em ambiente clínico (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007). O treino de microcirurgia requer um tempo considerável de prática, pela aprendizagem da técnica de forma metódica, utilizando simuladores e animais (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007).

A parte mais difícil da aprendizagem de microcirurgia é obter a orientação necessária para trabalhar sob o microscópio (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007), sendo esta uma capacidade essencial (Kanazawa & Teramoto, 2009).

Os modelos sintéticos podem ser organizados em grupos de progressão de complexidade, cada um para uma habilidade diferente: manipulação básica, movimento e orientação no campo microscópico, colocação e realização de nós, aposição de bordos, uso da mão não dominante, completar a anastomose em modelos de três dimensões e experiência em tecido real (Ilie *et al.*, 2008). Todas essas atividades concentram-se no treino de uma habilidade específica: precisão, movimento das mãos e habilidade motora espacial (Camargo, e Silva, Maluf, Morais-Besteiro, & Gemperli, 2017). Deste modo, os objetivos do treino nestes modelos são a aquisição da coordenação olho-mão sob o microscópio, a manipulação básica do mesmo, o manuseamento dos instrumentos e suturas, a transição entre campos microscópicos e macroscópicos, a disseção de tecido, a remoção da túnica adventícia, a sutura, a realização de nós e a verificação de fluxo (Ilie *et al.*, 2008).

A progressão gradual dos modelos de treino e a prática em modelos alternativos reduzem a necessidade do uso de animais vivos em treino de microcirurgia, resultando em óbvias vantagens de natureza ético-legal e de higiene, bem como uma redução de custos, o que pode auxiliar no planeamento e divulgação de treino microcirúrgico em todo o mundo (Trignano *et al.*, 2017, Olijnyk *et al.*, 2019). Modelos sintéticos de simulação continuam promissores para desempenhar um papel maior no futuro do treino microcirúrgico (Abi-Rafeh, Zammit, Mojtahed Jaber, Al-Halabi, & Thibaudeau, 2019). Os modelos sintéticos não só reduzem o número de animais vivos necessários para o treino de microcirurgia, como também fornecem uma alternativa de baixo custo e facilmente disponível para um treino contínuo (Rodriguez, Yañez, Cifuentes, Varas, & Dagnino, 2016). São ainda úteis para treinar as competências técnicas antes de se avançar para modelos *ex vivo* e *in vivo*, embora só permitam avaliar as aquisições mais básicas, como o uso do microscópio, instrumentos e manuseamento de tecidos (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007). Na fase seguinte, o aluno executa os procedimentos numa peça anatómica para aplicar aos tecidos animais a técnica aprendida no modelo sintético (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007).

O cirurgião deve inicialmente estar familiarizado com o microscópio cirúrgico, instrumentos microcirúrgicos, postura adequada, duração das sessões, métodos para evitar tremor das mãos e técnica de micro-sutura (Vinagre, Villa, & Amillo, 2017). Durante o treino, o cirurgião adquire o controlo das suas mãos e familiariza-se com as diversas ampliações, instrumentos e técnicas de sutura (Lausada, Escudero, Lamonega, Dreizzen, & Raimondi, 2005).

Apesar da eficácia bem documentada dos modelos animais vivos e cadavéricos, vários problemas financeiros e de acessibilidade limitam a sua utilização (Abi-Rafeh *et al.*, 2019). Os simuladores sintéticos de baixa fidelidade ganharam reconhecimento pela sua capacidade de contornar esses desafios (Abi-Rafeh *et al.*, 2019).

Existe um consenso generalizado de que o treino de microcirurgia deve começar com modelos simples, baratos e inanimados, pois as dificuldades no desempenho motor e visual são superadas pela aprendizagem de novas aptidões (Ilie *et al.*, 2008).

Alunos de microcirurgia, internos ou cirurgiões em aprendizagem, têm um tempo limitado para se dedicarem à prática e treino em laboratório (Hermiyanty, Wandira Ayu Bertin, 2017). O uso de ratos anestesiados requer aguardar pela anestesia, tricotomia, para além da capacidade de dissecar adequadamente os vasos sanguíneos antes que se possam treinar as técnicas microcirúrgicas (Hermiyanty, Wandira Ayu Bertin, 2017). Estudos demonstram que aqueles que treinaram em modelos sintéticos de baixa fidelidade, tiveram tão bons resultados como os que foram treinados em ratos vivos, tendo havido resultados semelhantes noutros aspetos da cirurgia (Balasundaram, Aggarwal, & Darzi, 2010).

Modelos básicos são geralmente simulações de baixa fidelidade de tarefas simples, são fáceis de construir e têm um custo reduzido (Evgeniou, Walker, & Gujral, 2018). Permitem a familiarização com o microscópio cirúrgico e a realização de suturas microcirúrgicas simples (Evgeniou *et al.*, 2018). A maioria dos modelos identificados utiliza materiais facilmente obtidos, como gaze, agulhas de costura e missangas (Abi-Rafeh *et al.*, 2019). Estes modelos são vantajosos em relação à disponibilidade, simplicidade de configuração e custo-benefício (Abi-Rafeh *et al.*, 2019).

A maioria dos programas inclui diferentes fases de aprendizagem, iniciando, por exemplo, com a manipulação em PVC Rat® (Guerreschi *et al.*, 2014).

Para adquirir habilidades básicas, a gaze foi descrita como um excelente modelo (M. Singh, Ziolkowski, Ramachandran, Myers, & Ghanem, 2014; Abi-Rafeh *et al.*, 2019) de treino simples para iniciantes, como o primeiro passo para alcançar a destreza inicial (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007). A prática inicial geralmente começa com o manuseamento do instrumento e a habilidade de realizar os nós, usando gaze cirúrgica (Lausada *et al.*, 2005). É um modelo barato e facilmente disponível (Ilie *et al.*, 2008). Com esta técnica, o aluno é obrigado a passar uma sutura acima e por baixo dos fios adjacentes ou a elaborar suturas simples interrompidas na rede da gaze (Evgeniou *et al.*, 2018). Deste modo, é um bom modelo de treino para aprender a suturar, passando um fio de *nylon* 10-0 sob as fibras (Ilie *et al.*, 2008). Uma gaze molhada assemelha-se melhor a tecido vivo pelo aumento da sua aderência (Ilie *et al.*, 2008).

Outro modelo descrito é o uso de missangas coloridas com um diâmetro externo de 1-2 mm (Ilie *et al.*, 2008). Juntamente com tubos de silicone, as missangas têm sido descritas como um modelo útil de prática de manipulação de instrumentos microvasculares para que alunos em iniciação pratiquem a anastomose de vasos e treino periódico de microcirurgias (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007). As missangas são enfiadas através de uma micro sutura para produzir micro colares, dando prática no manuseamento de instrumentos e suturas sob magnificação (Lannon, Atkins, & Butler, 2001). Este método é útil para a introdução do conceito de manipulação muito cuidadosa e gentil e para a técnica de sutura sob o microscópio (Ilie *et al.*, 2008).

Há também quem use folhas de plantas para suturar e dar nós. Este modelo é importante para aprender a manter uma boa distância entre suturas (Ilie *et al.*, 2008). A folha é um material friável, não elástico e exagera qualquer dano infligido ao tecido durante a sutura (Lannon *et al.*, 2001). Erros técnicos são facilmente documentados de forma implacável e melhora a suavidade no manuseamento de vasos, solidificando a autoconfiança ao lidar com vasos pequenos (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007). Requer grande habilidade para suturas atraumáticas, diferentemente dos tubos de silicone, que não expõem o manuseamento brusco por alunos com pouca sensibilidade (Lannon *et al.*, 2001). As folhas são económicas e mais realistas do que os tubos de silicone (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007).

Sem prejuízo dos modelos anteriormente descritos, o latex das luvas é o material mais utilizado nos procedimentos de treino (Ilie *et al.*, 2008). Já é usado no ensino de microcirurgia há mais de duas décadas (Lannon, Atkins, & Butler, 2001). Muitos cursos de simulação microcirúrgica usam a colocação de suturas simples interrompidas numa incisão reta feita numa luva de borracha como a tarefa microcirúrgica inicial para permitir que o aluno se familiarize com os instrumentos microcirúrgicos e aprenda a realizar uma sutura microcirúrgica simples (Evgeniou *et al.*, 2018). Treino com latex assemelha-se com anastomose vascular pois elimina o suporte do tecido circundante, criando uma ponta mecanicamente instável (Ilie *et al.*, 2008). A manipulação delicada da mão não dominante é necessária e mantém a exigência na precisão da sutura (Ilie *et al.*, 2008). Uma ponta instável habitua o aluno a um campo tridimensional e a trabalhar no mesmo plano sem nunca perder o foco (Ilie *et al.*, 2008). Há muitas vantagens em usar latex no treino de microcirurgia sendo o modelo mais importante para ensinar os passos básicos de sutura (Ilie *et al.*, 2008).

A tabela 1 resume as vantagens e desvantagens dos modelos sintéticos usados para ensino e treino de microcirurgia.

Tabela 1- Vantagens e desvantagens dos modelos sintéticos de treino e ensino da microcirurgia.

Modelos sintéticos	Vantagens	Desvantagens
Gaze (M. Singh, Ziolkowski, Ramachandran, Myers, & Ghanem, 2014) (Woan-Yi Chan <i>et al.</i> , 2007); (Lausada <i>et al.</i> , 2005); (Ilie <i>et al.</i> , 2008). (Evgeniou <i>et al.</i> , 2018) (Abi-Rafeh <i>et al.</i> , 2019)	Excelente para treino inicial e familiarização com os instrumentos e modo de sutura.	Pouco semelhante ao tecido real.
Dexter (Woan-Yi Chan <i>et al.</i> , 2007)	Oferece prática e avaliação de destreza e de manuseamento e manipulação de instrumentos microcirúrgicos.	Pouco semelhante ao tecido real.
Missangas (Ilie <i>et al.</i> , 2008) (Woan-Yi Chan <i>et al.</i> , 2007) (Lannon <i>et al.</i> , 2001)	Úteis na prática de manipulação de instrumentos microvasculares e introdução do conceito de manipulação cuidadosa.	Pouco semelhante ao tecido real.
Folhas de plantas (Ilie <i>et al.</i> , 2008) (Lannon <i>et al.</i> , 2001) (Woan-Yi Chan <i>et al.</i> , 2007)	Útil para a aprendizagem de execução de suturas; Fácil detecção de erros; Melhoria da suavidade no manuseamento de vasos e solidificação da autoconfiança do formando na sutura em vasos pequenos; Econômicas.	Exagera os erros de execução; Pouco semelhante ao tecido real; Pouco elástico.
Almofada borracha (Woan-Yi Chan <i>et al.</i> , 2007)	Permite a aquisição de destreza na colocação de suturas	Pouco semelhante ao tecido real.
Modelo papelão (Woan-Yi Chan <i>et al.</i> , 2007)	Familiarização com instrumentos microcirúrgicos; Permite a execução correta da sutura; Possibilita a elaboração de vários métodos de fazer nós (<i>forehand and backhand</i>); Permite a execução de anastomose de topo a topo, a anastomose de topo a lado e a anastomose de lado a lado em diâmetros iguais e desiguais.	Pouco semelhante ao tecido real.
Silicone (Evgeniou <i>et al.</i> , 2018) (M. Singh <i>et al.</i> , 2014) (Abi-Rafeh <i>et al.</i> , 2019) (Mikami <i>et al.</i> , 2018)	Realizar anastomose microcirúrgica. Simula vasos sanguíneos. Comporta-se mais como os vasos biológicos. Pode ser injetado um corante nos tubos após anastomose para verificar a sua eficácia. Pode-se aumentar fidelidade usando uma membrana de filme extensível para simular a tarefa de destacar a adventícia.	Pouco semelhante ao tecido real.
Latex (Ilie <i>et al.</i> , 2008) (Lannon <i>et al.</i> , 2001) (Evgeniou <i>et al.</i> , 2018)	Ensinar passos básicos de sutura. Familiarizar com instrumentos e aprender a realizar sutura microcirúrgica simples. Assemelha-se com anastomose vascular. Exige manipulação delicada da mão não dominante e há exigência na precisão da sutura.	Pouco semelhante ao tecido real.
Noodle (“shirataki konnyaku”) (Prunières <i>et al.</i> , 2014)	Estruturalmente semelhante ao tecido animal cadavérico; Permite o aperfeiçoamento do treino de microcirurgias júniores que não têm acesso a um laboratório de microcirurgia adequado;	Pouco semelhante ao tecido real.

(Evgeniou <i>et al.</i> , 2018)	Tem um baixo custo de aquisição.	
PracticeRat® (Hermiyanty, Wandira Ayu Bertin, 2017) (Yen <i>et al.</i> , 1995). (Lannon <i>et al.</i> , 2001) (M. Singh <i>et al.</i> , 2014) (Illie <i>et al.</i> , 2008) (Evgeniou <i>et al.</i> , 2018) (Shurey <i>et al.</i> , 2014)	Permite desenvolver e manter altos níveis de habilidades microcirúrgicas; Permite o aperfeiçoamento de técnicas microcirúrgicas e aptidões práticas; Facilita a transição para modelos <i>in vivo</i> e reduz o número de animais usados na última fase de treino; Permite que o aluno aprenda todos os procedimentos microvasculares e microcirúrgicos básicos.	Elevado custo
PVC Rat® (Illie <i>et al.</i> , 2008). (Spetzger, Schilling, Brombach, & Winkler, 2011) (M. Singh <i>et al.</i> , 2014). (Evgeniou <i>et al.</i> , 2018).	Permite desenvolver e manter altos níveis de habilidades microcirúrgicas; Permite o aperfeiçoamento de técnicas microcirúrgicas e habilidades práticas; Facilita a transição para modelos <i>in vivo</i> e reduz o número de animais usados na última fase de treino; Permite que o aluno aprenda todos os procedimentos microvasculares e microcirúrgicos básicos; Consegue acomodar 25 técnicas avançadas e experimentais, incluindo canulação das veias porta, renal e jugular, fazendo <i>shunts</i> porto-cava e transplantações dos vasos sanguíneos, rins e coração; Inclui um <i>software</i> que o liga ao computador.	Elevado custo.
Modelos virtuais (Lannon <i>et al.</i> , 2001).	Contêm rastreadores eletromagnéticos para fornecer dados tridimensionais da localização e orientação para o ambiente simulado; Interação com vasos virtuais é muito próxima da realidade; O sistema é capaz de calcular a eficiência do movimento e os <i>scores</i> de desempenho.	Elevado custo

Tubos de silicone podem ser usados para simular vasos sanguíneos e ensinar aos alunos como realizar uma anastomose microcirúrgica (Evgeniou *et al.*, 2018). No entanto, tubos de micro silicone, como os usados para isolamento de fios elétricos, e os tubos Gore-tex® (politetrafluoretileno) têm a vantagem de se comportar mais como os vasos biológicos do que tubos de silicone (M. Singh *et al.*, 2014). Este modelo pode ainda ser melhorado quando, após a anastomose, se injeta um corante nos tubos para validar a sua perfusão (Evgeniou *et al.*, 2018). Isto aumenta a fidelidade dos tubos de silicone como modelo de simulação microcirúrgica (Evgeniou *et al.*, 2018). Pode-se ainda usar uma membrana de filme extensível de polietileno para simular a tarefa de destacar a adventícia (Evgeniou *et al.*, 2018). Os tubos de silicone tiveram resultados equivalentes aos do treino com modelos animais nos exercícios de anastomose em rato (Abi-Rafeh *et al.*, 2019).

O modelo do tubo de silicone é apropriado para a prática inicial e é recomendável que seja usado adequadamente antes de passar para um modelo de treino em animais (Mikami *et al.*, 2018).

Modelos de papelão podem ser usados para a familiarização com instrumentos e abordagem cirúrgica, como por exemplo a colocação correta da sutura, vários métodos de fazer nós (*forehand and backhand*), anastomose topo a topo, anastomose de topo a lado, anastomose de lado a lado e diâmetros desiguais (Woan-Yi Chan *et al.*,

2007). Estes modelos demonstraram uma boa construção e contribuíram para uma redução significativa de custos (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007).

O PracticeRat® é uma nova ferramenta que pode ser usada para desenvolver e manter altos níveis de habilidades microcirúrgicas enquanto diminui o uso de animais (Yen *et al.*, 1995). Este é um modelo de treino microcirúrgico protético dinâmico e, portanto, mais elaborado (Lannon *et al.*, 2001). Consiste em dois tubos de polietileno (diâmetro externo de 1 mm) (Lannon *et al.*, 2001, Evgeniou *et al.*, 2018), que simulam uma artéria, uma veia e um nervo (M. Singh *et al.*, 2014, Evgeniou *et al.*, 2018) envoltos em adventícia sintética e conectados a acessórios que permitem a simulação de circulação (Ilie *et al.*, 200, Evgeniou *et al.*, 2018). Permite que o aluno aprenda todos os procedimentos microvasculares e microcirúrgicos básicos (Yen *et al.*, 1995). O tecido artificial é projetado para replicar as propriedades do tecido vivo em termos de aparência, consistência, resistência à passagem da agulha e características de rasgo (Yen *et al.*, 1995). O PracticeRat® pode ser usado para desenvolver e manter altos níveis de habilidades microcirúrgicas enquanto diminui o uso de animais (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007). Este modelo oferece flexibilidade (Yen *et al.*, 1995) e as técnicas microcirúrgicas que podem ser praticadas a qualquer momento, com tempo mínimo de preparação (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007). Com 10 anastomoses por unidade, este modelo não oferece vantagens de custo em relação aos animais vivos, no entanto, é muito conveniente em termos de instalação e manutenção (Ilie *et al.*, 2008). O polietileno tem consistência realista e resistência à passagem da agulha (Lannon *et al.*, 2001). O PracticeRat® foi considerado um complemento prático para programas de treino e manutenção de habilidades (Lannon *et al.*, 2001). No entanto, o tecido artificial é menos realista do que o modelo de rato (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007). Por isso, apesar da sua eficácia como ferramenta de treino, o PracticeRat® não pode ser considerado um substituto para o uso de animais vivos em programas de treino microcirúrgico (Yen *et al.*, 1995) e o modelo animal de rato vivo continua a ser um modelo indispensável para muitos cursos de microcirurgia (Shurey *et al.*, 2014). Este modelo tem um custo de 276.79 dólares (M. Singh *et al.*, 2014).

Outro modelo ainda mais avançado é o PVC Rat®, onde os vasos e outras estruturas são feitos de latex e os órgãos são de poliuretano (Ilie *et al.*, 2008). Consegue acomodar 25 técnicas avançadas e experimentais, incluindo canulação das veias porta, renal e jugular, fazendo *shunts* porto-cava e transplantações dos vasos sanguíneos, rins e coração (Ilie *et al.*, 2008). Permite aperfeiçoar técnicas microcirúrgicas e habilidades práticas (Spetzger *et al.*, 2011).

O PVC Rat® facilita a transição para outros modelos *in vivo* (Spetzger *et al.*, 2011). Outra vantagem é o facto de vir com um *software* que, quando usado num computador conectado, simula aspetos do cuidado com animais vivos, como medidas de temperatura, frequência cardíaca e frequência respiratória (M. Singh *et al.*, 2014). Os autores argumentam que o uso deste simulador pode levar ao desenvolvimento de habilidades que podem ajudar a reduzir o número de animais vivos necessários no treino de microcirurgia mais avançado subsequente (Evgeniou *et al.*, 2018). Contudo, este método de treino tem um custo significativo de, aproximadamente, de 500 dólares (M. Singh *et al.*, 2014) (Figura 6, Figura 7 e Figura 8).



Figura 6 - Fotografia das veias da cavidade abdominal do PVC Rat®. Adaptado de Spetzger *et al.*, 2011.



Figura 7 - Abordagem pterional de crânio de plástico no PVC Rat®. Observa-se retração do cérebro de plástico macio, abrindo a fenda silviana. Uma anastomose de ponta a ponta foi realizada com os vasos de plástico altamente elástico. Adaptado de Spetzger *et al.*, 2011.



Figura 8 - PVC Rat® com tubo de plástico fixado. O tubo foi fixado a um sistema retrator flexível convencional e reduz o espaço de trabalho e o campo operatório. Nesse espaço de trabalho focado, o nível de dificuldade para realizar uma anastomose aumenta significativamente. Adaptado de Spetzger *et al.*, 2011.

Outro material inanimado que foi descrito para o treino em simulação microcirúrgica é o *noodle* japonês (“*shirataki konnyaku*”), que é estruturalmente semelhante ao tecido animal cadavérico (Evgeniou *et al.*, 2018). Está disponível em supermercados a preço razoável e um pacote de 228 g permite executar, pelo menos, 100 anastomoses (Prunières *et al.*, 2014). Estes *noodles* têm um

diâmetro constante de cerca de 1,5 mm, o que corresponde à artéria femoral de um rato (Prunières *et al.*, 2014). Este modelo pode ser introduzido na sala de cirurgia para aperfeiçoar o treino de microcirurgias juniores que não têm acesso a um laboratório de microcirurgia adequado (Prunières *et al.*, 2014).

Dexter é um dispositivo que oferece prática e avaliação de destreza, manuseamento e manipulação de instrumentos, simulando manobras semelhantes às realizadas em anastomoses microcirúrgicas sendo um valioso auxílio ao treino (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007).

Foram descritos ainda outros modelos baratos e facilmente disponíveis como a almofada de borracha e a caixa de luvas que ajudam na aquisição de destreza na colocação de suturas e orientação sob o microscópio (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007).

A microcirurgia virtual está a ser desenvolvida (Lannon *et al.*, 2001). Montgomery *et al.* desenvolveram um simulador de anastomose microvascular computadorizado para treino e avaliação de microcirurgias (Lannon *et al.*, 2001). Estes são montados com rastreadores eletromagnéticos para fornecer dados tridimensionais da localização e orientação para o ambiente simulado no qual o cirurgião realiza uma anastomose microvascular virtual (Lannon *et al.*, 2001).

Os autores relatam que os instrumentos virtuais são muito responsivos e a sua interação com vasos virtuais é muito próxima da realidade (Lannon *et al.*, 2001). O Seu sistema é capaz de calcular a eficiência do movimento e os *scores* de desempenho, mas não são apresentadas evidências da sua validação como método de avaliação de técnicas microcirúrgicas (Lannon *et al.*, 2001).

5.2. Modelos de treino em tecido *ex vivo*

Semelhante aos materiais inanimados, o uso de tecido *ex vivo* animal reduz a necessidade de animais vivos para o ensino de habilidades microcirúrgicas (Evgeniou *et al.*, 2018). Comparado com materiais sintéticos, o tecido cadavérico animal oferece uma representação mais realista da prática clínica real em relação à consistência, textura e resistência do tecido da parede do vaso à passagem da agulha e, portanto, é considerado superior (Evgeniou *et al.*, 2018). Apesar de suas vantagens notáveis, persistem hesitações em relação ao seu uso como substitutos de modelos de alta fidelidade (Abi-Rafeh *et al.*, 2019). Na Tabela 2 estão descritas as vantagens e desvantagens dos modelos *ex vivo*.

Vasos armazenados no frio de rato, coelho ou galinha, podem ser usados inicialmente como um exercício de treino antes da progressão para animais vivos (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007; Ilie *et al.*, 2008; Olijnyk *et al.*, 2019). As artérias de rato conservadas a frio têm várias vantagens: baixo custo, são convenientes e fáceis de obter, não sendo necessárias instalações específicas para manter animais vivos nem anestesia (Lausada *et al.*, 2005). A aorta abdominal preservada é um excelente material para a realização de microcirurgia sob o microscópio (Lausada *et al.*, 2005). Para superar restrições de tempo de armazenamento, pode-se usar artérias colhidas de rato e coelho sacrificados

em ensaios concomitantes (Ilie *et al.*, 2008). Esses tecidos mantêm as mesmas características de manuseamento por até 7 meses (Ilie *et al.*, 2008).

Já a criopreservação fornece uma textura de tecido mais realista (Ilie *et al.*, 2008). Um modelo não vivo comumente usado é a aorta de rato criopreservada (M. Singh *et al.*, 2014). Também se conseguem obter vasos femorais de ratos recém-mortos, nervos ciáticos e artérias carótidas (Lausada *et al.*, 2005). As artérias preservadas por criogenia são baratas, convenientes, práticas e facilitam o desenvolvimento e a manutenção das habilidades cirúrgicas (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007). Este modelo é particularmente útil na fase inicial de treino, devido a um diâmetro médio do vaso de 3 mm a 4 mm (M. Singh *et al.*, 2014). Este modelo elimina conflitos com a ética animal, mas a validade é limitada devido à ausência de circulação dinâmica (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007).

Tabela 2 - Vantagens e desvantagens dos modelos *ex vivo* no ensino e treino da microcirurgia.

Modelos <i>ex vivo</i>	Vantagens	Desvantagens
Artéria de rato conservadas no frio (Woan-Yi Chan <i>et al.</i> , 2007) (Lausada <i>et al.</i> , 2005) (Ilie <i>et al.</i> , 2008)	Baixo custo. Fáceis de obter. Não requer instalações específicas. Não requer anestesia. Elimina problemas de ética.	Ausência de circulação dinâmica.
Artérias criopreservadas (Ilie <i>et al.</i> , 2008) (M. Singh <i>et al.</i> , 2014) (Woan-Yi Chan <i>et al.</i> , 2007)	Textura de tecido mais realista. Baixo custo. Práticas. Desenvolvem e mantêm habilidades cirúrgicas. Elimina problemas de ética.	Ausência de circulação dinâmica.
Asas de frango (Evgeniou <i>et al.</i> , 2018) (M. Singh <i>et al.</i> , 2014) (Ilie <i>et al.</i> , 2008)	Anastomose arterial braquial Reparação de nervo.	Ausência de circulação dinâmica.
Pernas de frango (Evgeniou <i>et al.</i> , 2018) (M. Singh <i>et al.</i> , 2014) (Ilie <i>et al.</i> , 2008)	Anastomose da artéria femoral, veia e nervo ciático	Ausência de circulação dinâmica.
Coxa de suíno (Evgeniou <i>et al.</i> , 2018) (Ilie <i>et al.</i> , 2008) (Woan-Yi Chan <i>et al.</i> , 2007)	Vasos maiores e mais longos para treino inicial. Dissecação macroscópica da artéria.	Ausência de circulação dinâmica.
Minhoca (Evgeniou <i>et al.</i> , 2018) (Franck, Trelles, Lewbart, & Vögelin, 2013)	Acessível. Vários tamanhos. Assemelha-se em textura a uma parede arterial. Não requer anestesia.	Ausência de circulação dinâmica.
Língua de boi (Camargo <i>et al.</i> , 2017)	Fácil de obter. Baixo custo.	Ausência de circulação dinâmica.

Tecido cadavérico de peru ou frango é um modelo muito popular usado por muitos autores (Evgeniou *et al.*, 2018). O mais conveniente em termos de compra, preparação e custo são os vasos de galinha,

pois as asas e pernas frescas estão facilmente disponíveis (M. Singh *et al.*, 2014). Ambos foram publicados anteriormente como modelos úteis para o treino microcirúrgico (M. Singh *et al.*, 2014). As asas de frango frescas permitem a anastomose arterial da artéria braquial, que é comparável em tamanho a um vaso digital humano (M. Singh *et al.*, 2014). Pernas de frango fresco permitem a anastomose da artéria femoral, veia e nervo ciático (M. Singh *et al.*, 2014). Estes tecidos oferecem aos alunos a oportunidade de praticar a anastomose arterial e venosa em vasos que variam de 1,25 mm a 1,69 mm de diâmetro no modelo da asa, artéria de 2,04 mm e veia de 1,45 mm no modelo de coxa e 4,5 mm na aorta de galinha (Evgeniou *et al.*, 2018). A asa de frango tem a vantagem adicional da oportunidade de realizar uma reparação de nervo (Evgeniou *et al.*, 2018). Vários outros locais anatômicos foram descritos: pescoço e entrada torácica para a carótida comum, asa para a artéria braquial e perna para o feixe neurovascular femoral (Ilie *et al.*, 2008). Imagens do modelo de asa de galinha estão representadas na Figura 9.

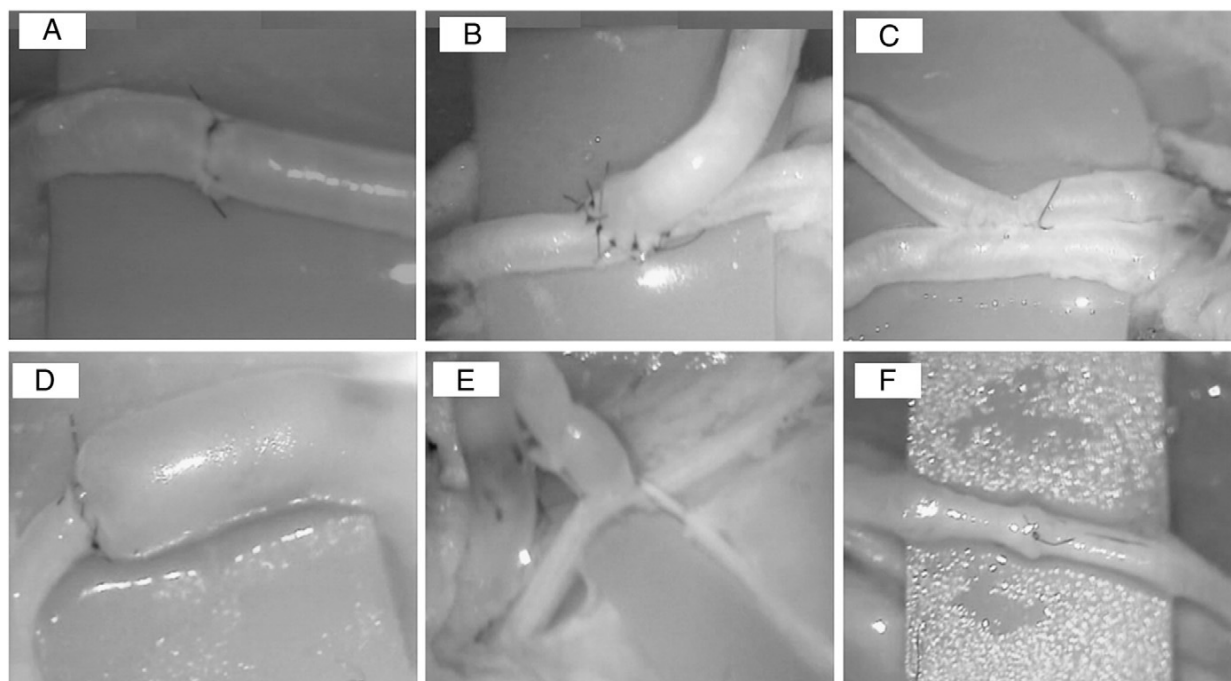


Figura 9 - Modelo da asa de galinha a) Anomose topo a topo arterial. B) Anomose topo a lado arterial. C) Anomose lado a lado arterial. D) Anomose topo a topo arteriovenosa. E) Anomose topo a lado arteriovenosa. F) Anomose lado a lado do nervo. Adaptado de Olabe & Olabe, 2009.

Os modelos de coxa suína oferecem vasos maiores que podem ser mais apropriados para a prática inicial dos alunos e são mais longos, permitindo, portanto, múltiplas tentativas de anastomose (Evgeniou *et al.*, 2018). Vasos coronários e do baço de suínos têm vasos de 1,5 mm a 2,5 mm de diâmetro e foram descritos como modelos apropriados para a prática microcirúrgica (Evgeniou *et al.*, 2018). Pernas de porcos abatidos podem fornecer vasos sanguíneos e nervos para a aquisição de competências em microcirurgia (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007). A disseção macroscópica da artéria

coronária de porco pode ser incorporada ao exercício ou o aluno pode passar diretamente para a prática das etapas anastomóticas nas artérias pré-dissecadas (Ilie *et al.*, 2008).

Outra forma de tecido animal cadavérico que pode ser usada para praticar microcirurgia é a minhoca, um invertebrado, considerado não senciente, e, por isso, sem considerações de natureza ética ou legislativa (Evgeniou *et al.*, 2018). A minhoca é composta por um tecido facilmente acessível que se assemelha à textura da parede arterial e está disponível numa variedade de tamanhos (Evgeniou *et al.*, 2018). O armazenamento do animal é simples e de baixo custo, podem ser usadas minhocas de diferentes tamanhos dependendo da dificuldade requerida e uma só minhoca pode ser usada por várias vezes (Franck *et al.*, 2013). Apesar da sua morte o tecido continua a ser semelhante ao de uma parede arterial (Franck *et al.*, 2013).

A língua de boi também foi descrita como um bom modelo, sendo fácil de comprar e de baixo custo (Camargo *et al.*, 2017). Essa estrutura anatômica apresenta dois pedículos paralelos, sendo que o diâmetro desses vasos diminui do terço proximal para o terço distal da língua (Camargo *et al.*, 2017). Dependendo da experiência do aluno, pode-se praticar em vasos proximais ou distais (Camargo *et al.*, 2017). O diâmetro da artéria varia de 3,9 mm a 2,0 mm e o diâmetro das veias varia de 5,04 mm a 3,06 mm (Camargo *et al.*, 2017). Além disso, o aluno pode praticar anastomoses numa longa extensão (22,43 cm) e refazer a sutura mais de três vezes (Camargo *et al.*, 2017). Também foi descrito o uso de veias placentárias bovinas (Evgeniou *et al.*, 2018). Imagens deste modelo estão representados na Figura 10 e na Figura 11.

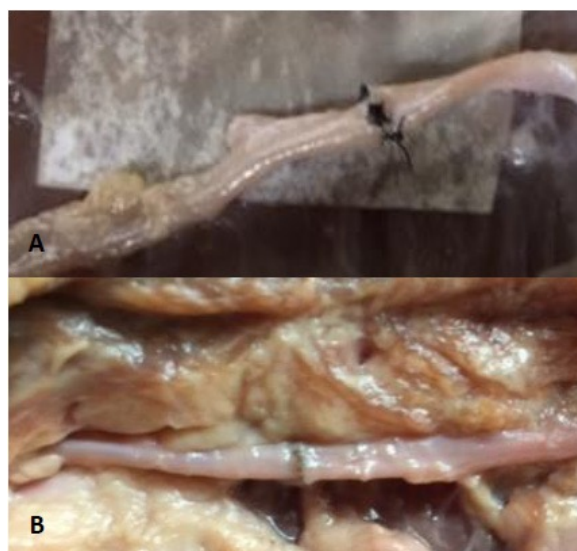


Figura 10 - Anastomose vascular em língua de boi. A) Primeira anastomose numa língua de boi. B) Quinta anastomose num modelo de língua de boi. Adaptado de Camargo *et al.*, 2017.

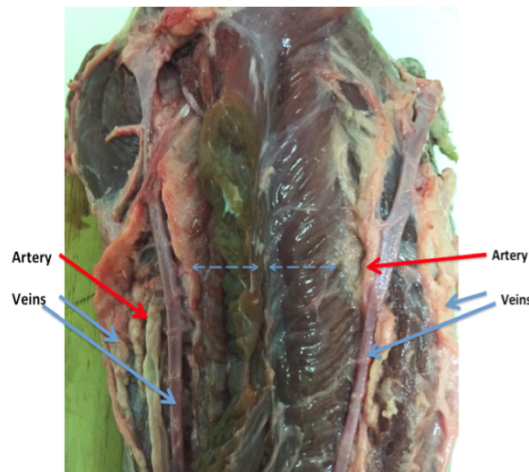


Figura 11- Estruturas anatômicas da língua do boi. A linha azul horizontal mede 1,5 cm da linha média. As setas vermelhas são artérias. As setas azuis são veia. Adaptado de Camargo *et al.*, 2017.

5.3. Modelos de treino *in vivo*

A maioria dos modelos sintéticos e em tecido cadavérico é suficiente para permitir que os alunos adquiram o conjunto básico de competências em microcirurgia (Shurey *et al.*, 2014), no entanto o treino microcirúrgico com ratos vivos é ainda mais vantajoso em relação aos outros tipos de treino (Kanazawa & Teramoto, 2009).

Atualmente, o rato é a espécie considerada como o *Gold standard* para o treino de microcirurgia, devido à sua disponibilidade e resistência a infeções (Balasundaram *et al.*, 2010), assim como à sua grande semelhança com a prática microcirúrgica clínica (Evgeniou *et al.*, 2018). Animais vivos são o modelo que fornece com melhor precisão a experiência da vida real e tem a vantagem de estar disponível para o controlo de patência a curto e longo prazo, com avaliação das condições hemodinâmicas dos vasos e do desenvolvimento de trombos (Bas, Cwykiel, & Siemionow, 2017). No entanto, as licenças necessárias para manter os animais, as considerações éticas e custo são limitações importantes (Balasundaram *et al.*, 2010).

Técnicas operatórias casuais não devem ser permitidas quando o treino envolve animais vivos, portanto, os alunos devem aprender o procedimento sob a orientação de um microcirurgião qualificado (Kanazawa & Teramoto, 2009).

Atualmente, as estirpes de rato utilizadas em pesquisa e microcirurgia são *Lewis*, *Sprague-dawley*, *Brown norway* (Woan-Yi Chan *et al.*, 2007) e ratos *Wistar* (Kanazawa & Teramoto, 2009). Os procedimentos microcirúrgicos são realizados sob anestesia geral, habitualmente através de uma injeção intraperitoneal (Yin *et al.*, 2019).

Deve-se realizar uma disseção subcutânea para expor os músculos da parede abdominal, e as camadas internas da parede abdominal devem ser cortadas ao longo da linha *alba* (Yin *et al.*, 2019). Em seguida, colocam-se afastadores para abrir a parede abdominal e expor completamente os

órgãos viscerais abdominais (Yin *et al.*, 2019). Os vasos sanguíneos devem ser examinados dissecando os dois lados das regiões inguinal e peitoral na seguinte ordem: pele, gordura subcutânea e músculo (Ha, Song, Kang, & Oh, 2018).

A artéria femoral situa-se entre o limite interno da veia femoral e o limite externo do nervo femoral (Mikami *et al.*, 2018). O tecido conectivo ao redor da artéria femoral deve ser separado da veia e nervo femoral e removido antes da anastomose (Mikami *et al.*, 2018). No lado proximal, o ligamento inguinal deve ser dissecado (Mikami *et al.*, 2018). Em seguida, a artéria femoral contralateral pode também ser usada para a prática de anastomose (Mikami *et al.*, 2018).

Numa cirurgia real, a disseção apropriada torna a manipulação mais segura durante uma anastomose (Kanazawa & Teramoto, 2009). O treino microcirúrgico com rato tem a vantagem de permitir que os alunos vivenciem o processo de disseção, sendo este essencial para permitir que o procedimento cirúrgico seja realizado com mais sucesso (Kanazawa & Teramoto, 2009).

Exercícios básicos são aprendidos utilizando a artéria e veia femoral, a artéria e veia epigástrica e o nervo ciático (Trignano, Fallico, Zingone, Dessy, & Campus, 2017). No entanto, o modelo da artéria femoral de rato é o modelo mais utilizado, permitindo a prática de anastomose topo a topo e de topo a lado (Evgeniou *et al.*, 2018). Como a anastomose de topo a topo é uma técnica relativamente simples, a maioria dos cursos de treino microcirúrgico começa o treino desta anastomose e progride para topo a lado, lado a lado ou vasos de grande calibre (Yin *et al.*, 2019). O diâmetro da aorta abdominal é maior ($1,59 \pm 0,15$ mm) e tem um calibre favorável para os alunos que estão nos estágios iniciais do treino de anastomose com um modelo animal (Yin *et al.*, 2019). Exemplos estão demonstrados na Figura 12, Figura 13 e Figura 14.

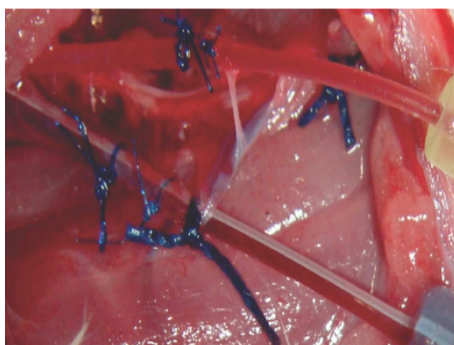


Figura 12- Visão com auxílio de microscópio cirúrgico da dissecação da artéria e da veia femoral, que estão cateterizadas com dispositivo flexível de teflon. Adaptado de Kinshoku *et al.*, 2012.

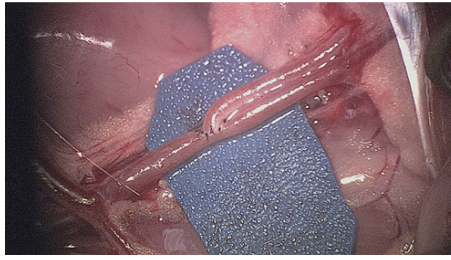


Figura 13- Anastomose de lado a lado: artéria femoral na veia femoral. Adaptado de Shurey et al., 2014.

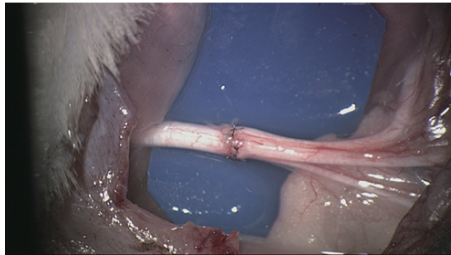


Figura 14- Anastomose epineural do nervo ciático de rato. Adaptado de Shurey et al., 2014.

Os vasos femorais são de diâmetro fino e, embora a sutura 11-0 seja adequada, o *nylon* monofilamento 11-0 é facilmente cortado com a borda do *fôrceps* e portanto, torna-se necessário um manuseamento suave e preciso (Kanazawa & Teramoto, 2009).

Outros vasos utilizados são os vasos safenos, sendo que uma das vantagens é a fácil disseção sem a necessidade de disseção intramuscular demorada, uma vez que são muito superficiais e de fácil acesso (Bas *et al.*, 2017).

O modelo da artéria safena e veia safena é aplicável especificamente a cirurgiões interessados em praticar diferentes tipos de técnicas de anastomose de vasos sub-milimétricos (por exemplo, técnicas unidirecionais ou de topo a topo) (Bas *et al.*, 2017). O domínio da anastomose vascular é um processo demorado que requer treino sistemático em laboratório antes de poder ser utilizado com prática na sala de cirurgia (Yin *et al.*, 2019).

Modelos mais avançados que simulam a replantação foram descritos em rato usando pênis, cauda e membros posteriores amputados, permitindo a prática de aptidões específicas para replantações como desbridamento, fixação esquelética, anastomose de artérias e veias e reparação de nervos, além de aprender a monitorizar o tecido após o restabelecimento da circulação com micro anastomose (Evgeniou *et al.*, 2018).

Ao treinar num modelo animal vivo, o aluno tem a oportunidade de aprender não apenas técnicas anastomóticas, mas também controle hemostático, bem como superar o stress mental durante a cirurgia (Mikami *et al.*, 2018). Os modelos com animais vivos são importantes no treino porque sua fidelidade é superior aos modelos não vivos (Mikami *et al.*, 2018).

6. Ergonomia e instrumentos em microcirurgia

Ergonomia em cirurgia já é discutida há muito tempo, mas só em 1970 é que se começou a aplicar em microcirurgia e, por isso, há ainda muito pouca literatura disponível (Menozzi *et al.*, 2018).

Tempos operatórios mais longos, campos operatórios estreitos e profundos, coordenação dos olhos, feedback visual, manipulação fina e tremor fisiológico são dificuldades especiais (Kao, Chen, & Chang, 2018). Um desenvolvimento de capacidades com melhor precisão e um entendimento adequado do *feedback* visual, *layout* do local de trabalho, o ambiente físico, o tremor normal da mão e o design do instrumento são importantes para obter melhores resultados cirúrgicos (Kao *et al.*, 2018).

A distância do cirurgião ao microscópio é outro aspeto importante (Kao *et al.*, 2018). Uma distância de trabalho muito curta não permite a visualização imediata de microinstrumentos no campo cirúrgico (Kao *et al.*, 2018). A cabeça e o corpo devem ser fixados com segurança para a inclinação da mesa desejada (Kao *et al.*, 2018). O campo operatório deve estar preferencialmente no ponto mais alto com a inclinação da cabeça, ajudando na retração do cérebro por gravidade (Kao *et al.*, 2018). O ângulo de trabalho adequado (para baixo e para frente) evita fadiga na microcirurgia (Kao *et al.*, 2018). A Figura 15 demonstra a posição correta de trabalho sob o microscópio.

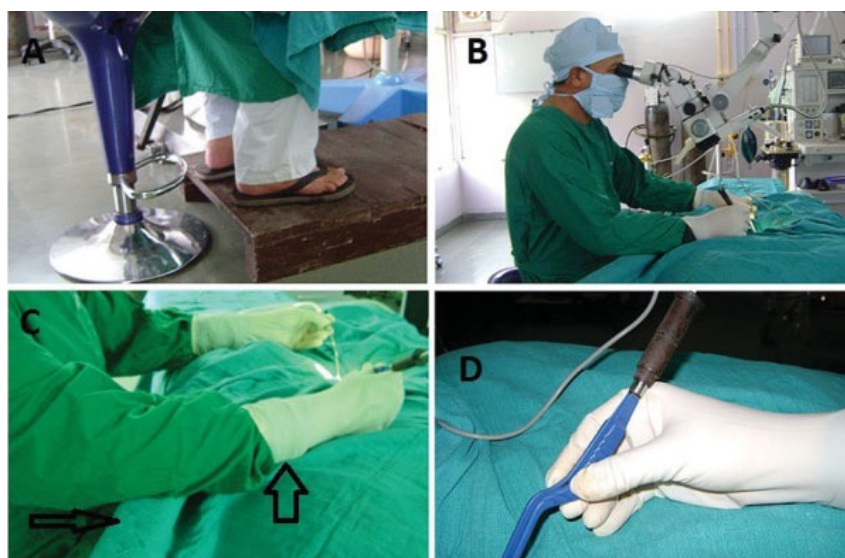


Figura 15- Posição confortável e correta do microcirurgião numa cadeira de altura ajustável. A) os pés do microcirurgião apoiados numa superfície plana. B) as costas e pescoço do microcirurgião devem estar direitos e relaxados com os ombros direitos a evitar abdução. C) antebraço, pulso, mão e dedos estão bem suportados usando um apoio de braço e com estruturas fixas e estáveis à volta (seta). D) firmeza na manipulação dos instrumentos. Adaptado de Yadav, Parihar, Ratre, Kher, & Iqbal, 2015.

Uma mesa cirúrgica inclinável permite que o cirurgião mova a área operatória nas direções desejadas (Kao *et al.*, 2018). Um microscópio operacional com controlo de bocal permite a cirurgia sem retirar as

mãos do campo operatório (Kao *et al.*, 2018). Uma cadeira móvel e ajustável em altura é importante para evitar a fadiga (Kao *et al.*, 2018). Os pés do cirurgião devem estar apoiados no chão ou numa plataforma com os músculos das pernas relaxados (Kao *et al.*, 2018).

Intervalos intraoperatórios também são úteis para descanso e regeneração musculoesquelética (Lakhiani, Fisher, Janhofer, & Song, 2018). As pausas não precisam de ser longas para ter efeitos poderosos (Lakhiani *et al.*, 2018). Foi demonstrado que microcirurgias que implementavam pausas curtas de 20 segundos para descansar os músculos a cada 20 minutos durante uma operação maior que duas horas cometiam sete vezes menos erros do que os cirurgiões que não realizavam pausas (Lakhiani *et al.*, 2018). Alongamentos e exercícios curtos realizados durante pausas intraoperatórias levaram a melhorias no foco do cirurgião, desempenho físico e bem-estar músculo-esquelético (Lakhiani *et al.*, 2018).

Os instrumentos são usados para executar funções delicadas sendo caracterizados por pontas muito finas e diâmetros pequenos (R. Singh, Suri, Baby, & Centre, 2017). Instrumentos inadequados ou com design impróprio são causa de fadiga excessiva no cirurgião e de insatisfação (Menozzi *et al.*, 2018). Um conjunto completo de instrumentos microcirúrgicos, inclui um porta agulhas, pinças de joalheiro, pinças de *tying*, tesouras, pinças hemostáticas e diferentes tipos de fios (Beris, Kostas-agnantis, Gkiatas, & Gatsios, 2020). Podem ser usados materiais de sutura de *nylon* monofilamento 10-0 ou 11-0 (Kanazawa & Teramoto, 2009). Exemplos de instrumentos estão representados na Figura 16.

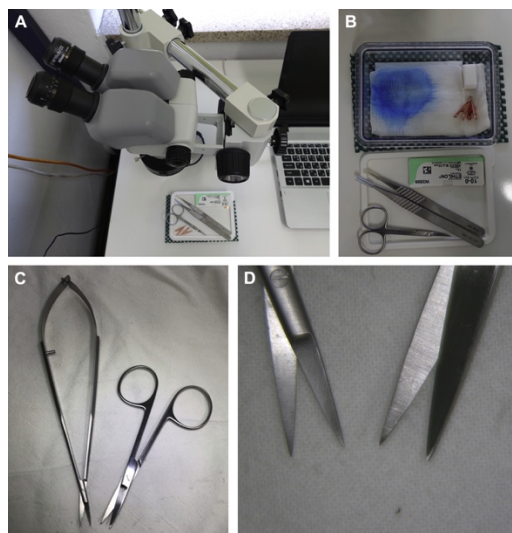


Figura 16- Os instrumentos mínimos necessários para treino de microcirurgia. A e b) microscópio com braço móvel, duas pinças de joalheiro, tesoura de iris, pinças de alligator e gaze. C) micro tesouras e tesoura de iris. D) as pontas das tesouras de iris e micro tesouras são semelhantes, sendo boas ferramentas para treinar com gaze, veias artificiais e no rato. (Chung, Ryu, Chung, Lee, & Choi, 2017).

Os instrumentos variam de muito curtos a muito longos e de resistentes a delicados, dependendo da profundidade de trabalho, das características dos tecidos e da anatomia microcirúrgica (Kao *et al.*, 2018).

Pinça de joalheiro com comprimento de 11 a 13,5 cm e largura da ponta de 0,3 mm são o tamanho mais adequado para treino (Chung *et al.*, 2017). Com pinças muito curtas, há uma falta de feedback tátil e torna-se difícil controlar a força usada para a micropreensão (Chung *et al.*, 2017). O uso de pinças excessivamente estreitas geralmente leva à aplicação de força excessiva nos materiais, causando danos e quebras (Chung *et al.*, 2017). Pinças com uma alça larga são mais fáceis de manipular (Chung *et al.*, 2017). As microtesouras são caras e as tesouras de íris e o clipe de crocodilo podem ser boas alternativas (Chung *et al.*, 2017). Embora não sejam tão finas quanto as microtesouras, as tesouras de íris podem cortar *nylon* 10-0 sem dificuldade (Chung *et al.*, 2017).

Pinças vasculares, incluindo pinças duplas e únicas, são frequentemente usadas durante a anastomose microvascular (Kao *et al.*, 2018). Uma pinça vascular fornece boa aproximação, uma anastomose livre de tensão e capacidade de rotação do vaso da frente para trás, segurando-o nas duas extremidades (Kao *et al.*, 2018). Os instrumentos com alça redonda permitem melhor rotação em comparação com a forma plana ou retangular (Kao *et al.*, 2018).

Outro instrumento essencial é o microscópio, modelos como o SZ61 (Olympus, Tóquio, Japão), ZDX-80-PO (Nissho optical, Kamisato, Japão) e M651 (Leica, Wetzlar, Alemanha) são usados frequentemente (Chung *et al.*, 2017). O modelo FL-400 oferece iluminação com luz azul, que expõe tecido de glioma maligno em pacientes que receberam ácido 5-aminolevulínico por via oral (Liczbik, Goertz, & Al.et, 2019). Já o modelo FL-800 oferece angiografia intraoperatória detetando ICG (*Indocyanine Green*) injetado por via intravenosa e mostra as imagens num monitor (Liczbik *et al.*, 2019). Outra invenção útil é a neuronavegação, um conjunto de tecnologias assistidas por computador que projetam com precisão tomografia computadorizada (TC) ou ressonância magnética (MRI) no campo operatório e permitem que o cirurgião realize a operação em pontos anatômicos predefinidos com base no planeamento de dados pré-operatórios para abordar patologias profundas (Liczbik *et al.*, 2019). A última inovação proposta para o microscópio é um exoscópio, que permite aos cirurgiões concluir a cirurgia visualizando imagens ampliadas num monitor (Liczbik *et al.*, 2019). Um amplo campo de visão e foco profundo são as principais vantagens deste equipamento (Liczbik *et al.*, 2019). Uma desvantagem é o facto de serem muito dispendiosos pelo que um microscópio estereoscópico usado pode ser uma opção válida em termos de desempenho e disponibilidade, embora existam algumas condições que devem ser atendidas, como o poder de ampliação (Chung *et al.*, 2017)

7. Conclusão

Este trabalho teve como objetivo juntar os diferentes tipos de modelos de treino de microcirurgia existentes na literatura, sendo que seria interessante começar a ser ensinadas algumas bases da microcirurgia nos cursos de medicina veterinária.

Estes modelos variam desde sintéticos como o latex, silicone, gaze, missangas, folhas, caixa de papelão, *noodles “shirataki konnyaku”*, *Dexter*, almofada de borracha e os mais elaborados *practicerat®* e *PVC Rat ®*. Servem para um treino inicial das habilidades microcirúrgicas, como suturar sob o microscópio, aprender a manusear este e familiarização com os micro instrumentos. A gaze é geralmente o primeiro modelo a ser usado, por ser simples, barato e muito acessível. Já o *PracticeRat®* e o *PVC Rat®* deve ser o último a ser usado desta linhagem de modelos por ser o mais elaborado e mais realista ao rato real, sendo necessárias noções básicas de manuseamento do microscópio e sutura para o utilizar. É também um modelo menos acessível em termos económicos.

Passando para um nível mais avançado existem os modelos animais ex-vivos, que são um excelente intermédio entre a aprendizagem dos passos básicos e o treino em animais vivos. Estes modelos para além disso não interferem com ética animal, são facilmente obtidos, de baixo custo e não requerem instalações especiais, anestesia ou manutenção. Variam desde coxas e asas de galinha, coxa de suíno, minhocas, língua de boi e artérias conservadas de rato. Nestes modelos pode-se treinar anastomose arterial e reparação de nervos em vasos de baixo calibre. Apesar da não existência de circulação dinâmica, são um excelente modelo de treino.

Os modelos de animais vivos são considerados ainda o Gold Standard do treino de microcirurgias sendo o modelo de eleição o rato. Este oferece uma grande variedade de artérias, veias e nervos onde se pode treinar vários tipos de anastomose, processos de dissecação e fornece uma experiência mais realista. Existe circulação dinâmica, logo, erros na anastomose são imediatamente detetados. Apesar de serem um ótimo modelo de treino o seu uso deve ser feito com muito cuidado e precaução. Existem regras de ética e bem-estar animal que devem ser seguidas e o aluno só deve passar para este modelo depois de aprender e praticar os processos básicos noutros modelos sintéticos e não vivos. O treino neste modelo deve ser sempre feito com alguém mais experiente a monitorizar, nunca devendo o aluno ser deixado sozinho. Isto implica que o treino neste modelo seja feito em tempo limitado e em menor frequência, do que se o aluno treinar num modelo sintético, onde pode treinar com mais autonomia e ter mais oportunidades de tentativa e erro sem consequências. Outra desvantagem deste modelo é o facto de os ratos serem sujeitos a anestesia o que implica ainda mais tempo de espera antes de se poder começar o treino. Para além disto, é necessário um espaço especificamente para eles viverem no laboratório e é necessária a sua manutenção (comida, água, cuidados veterinários).

A microcirurgia é bastante rigorosa, não só em termos de técnica, mas também física e mentalmente. O cirurgião passa horas sob o microscópio num campo operatório muito pequeno e existe um grande

desgaste mental, assim como físico. Existe muito pouca informação sobre ergonomia em microcirurgia, mas é algo que deve ser mais valorizado, pois uma boa postura e um correto manuseamento dos instrumentos facilita a cirurgia e resulta num menor desgaste por parte do cirurgião e, conseqüentemente, melhores resultados.

A microcirurgia é uma especialidade que está em crescimento e por isto seria benéfico começar a incluí-la nos cursos de medicina veterinária, de modo a que os alunos comecem a familiarizar-se com esta e aprender os seus princípios básicos. Seria interessante existir uma unidade curricular sobre microcirurgia, onde se ensinassem os princípios teóricos e se pudesse treinar com modelos sintéticos, visto que a maioria estão facilmente disponíveis e os modelos de tecido animal morto existe e pode ser obtido com facilidade por uma faculdade de medicina veterinária. O maior custo seria na obtenção do microscópio, mas opções mais económicas estão disponíveis e podem-se fazer modificações em microscópios não próprios para microcirurgia de modo a garantir que os requisitos estão cumpridos.

8. Agradecimentos

À minha orientadora externa, mestre Cristiane de Carvalho Lima, por me ter recebido na sua clínica durante o estágio curricular e por me ter passado tantos conhecimentos teóricos e práticos durante os seis meses de estágio, assim como ao longo destes últimos seis anos de acompanhamento, ensinamento e amizade.

Aos voluntários da Associação pela Redução da População Animal, por todo o companheirismo, apoio e ensino no decorrer destes seis anos.

À minha orientadora interna, Professora Doutora Ana Calado Lopes, por ter aceitado ser minha orientadora e pelo acompanhamento durante a realização deste trabalho.

À minha família por todo o seu apoio ao longo destes anos e por me terem dado a oportunidade de frequentar a Escola Universitária Vasco da Gama.

9. Bibliografia

- Abi-Rafeh, J., Zammit, D., Mojtahed Jaber, M., Al-Halabi, B., & Thibaudeau, S. (2019). Nonbiological Microsurgery Simulators in Plastic Surgery Training: A Systematic Review. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 496E-507E. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000005990>
- Andersen, M. L., & Winter, L. M. F. (2017). Animal models in biological and biomedical research – experimental and ethical concerns. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 91, 1–14. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170238>
- Balasundaram, I., Aggarwal, R., & Darzi, L. A. (2010). Development of a training curriculum for microsurgery. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 48(8), 598–606. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2009.11.010>
- Bas, C. E., Cwykiel, J., & Siemionow, M. (2017). A New Supermicrosurgery Training Model of Saphenous Artery and Great Saphenous Vein Anastomosis for Development of Advanced Microsurgical Skills. *Journal of Reconstructive Microsurgery*, 33(6), 426–434. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1599101>
- Beris, A., Kostas-agnantis, I., Gkiatas, I., & Gatsios, D. (2020). Microsurgery training: A combined educational program. *Injury*, (xxxx), 3–6. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.03.016>
- Brown, J. S., & Rapaport, B. H. J. (2019). Role of live animals in the training of microvascular surgery: a systematic review. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 57(7), 616–619. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2019.06.003>
- Camargo, C. P., e Silva, D. I. de S. B. de C., Maluf, F. C., Morais-Besteiro, J., & Gemperli, R. (2017). A non-living, effective model for microvascular training. *Acta Cirurgica Brasileira*, 32(12), 1087–1092. <https://doi.org/10.1590/s0102-865020170120000010>
- Chung, S. B., Ryu, J., Chung, Y., Lee, S. H., & Choi, S. K. (2017). An Affordable Microsurgical Training System for a Beginning Neurosurgeon: How to Realize the Self-Training Laboratory. *World Neurosurgery*, 105, 369–374. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.05.174>
- Couto, M. (2011). Vertebrate Embryogenesis. *Reptile Embryology*, 770(1), 439–455. <https://doi.org/10.1007/978-1-61779-210-6>
- Evgeniou, E., Walker, H., & Gujral, S. (2018). The Role of Simulation in Microsurgical Training. *Journal of Surgical Education*, 75(1), 171–181. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2017.06.032>
- Franck, F. M., Trelles, M., Lewbart, G. A., & Vögelin, E. (2013). Is there good simulation basic training for end-to-side vascular microanastomoses? *Aesthetic Plastic Surgery*, 37(2), 454–458. <https://doi.org/10.1007/s00266-012-0005-0>
- G., J. U., Sánchez, F., Calles, M., & C, J. U. (2009). Manual de Microcirugía Vascular y Nerviosa. *Centro de Cirugía de Mínima Invasión*, (2 edición).

- Gross, D., & Tolba, R. H. (2015). *Ethics in Animal-Based Research*.
- Guerreschi, P., Qassemyar, A., Thevenet, J., Hubert, T., Fontaine, C., & Duquennoy-Martinot, V. (2014). Reducing the number of animals used for microsurgery training programs by using a task-trainer simulator. *Laboratory Animals*, 48(1), 72–77. <https://doi.org/10.1177/0023677213514045>
- Ha, Y., Song, S. H., Kang, N. H., & Oh, S. H. (2018). Proper Choice of Vessels for Supermicrosurgery Training: An Experimental Animal study. *Journal of Reconstructive Microsurgery*, 34(9), 742–748. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1648221>
- Harper, L., Herbst, K. W., & Kalfa, N. (2017). Ethical issues in research: Human and animal experimentation. *Journal of Pediatric Urology*, 14(3), 287–288. <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2017.12.012>
- Hermiyanty, Wandira Ayu Bertin, D. S. (2017). 濟無No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 8(9), 1–58. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ilie, V. G., ILIE, V. I., DOBREANU, C., GHETU, N., LUCHIAN, S., Fellow, E., & PIEPTU, D. (2008). TRAINING OF MICROSURGICAL SKILLS ON NONLIVING MODELS. <https://doi.org/10.1002/micr>
- Kanazawa, R., & Teramoto, A. (2009). The realization of preferable operative working space through the microsurgical training with rats-the importance of the process. *Surgical Neurology*, 71(3), 380–387. <https://doi.org/10.1016/j.surneu.2007.09.039>
- Kao, J. Y., Chen, Y. R., & Chang, S. S. (2018). A simple and novel technique for training in microvascular suturing in a rat model. *Asian Journal of Surgery*, 42(1), 409–413. <https://doi.org/10.1016/j.asjsur.2018.05.005>
- Kinshoku, M. R., Rodriguez, C. A. L., Fidalgo, R. de S., Duran, C. C. G., Leme, P. L. S., & Duarte, I. da S. (2012). Uso racional de modelos animais para pesquisa e ensino de microcirurgia. *Revista Do Colegio Brasileiro de Cirurgioes*, 39(5), 414–417. <https://doi.org/10.1590/S0100-69912012000500013>
- Konofaos, P., Bassilios Habre, S., & Wallace, R. D. (2018). End-to-Side Nerve Repair: Current Concepts and Future Perspectives. *Annals of Plastic Surgery*, 81(6), 736–740. <https://doi.org/10.1097/SAP.0000000000001663>
- Lakhiani, C., Fisher, S. M., Janhofer, D. E., & Song, D. H. (2018). Ergonomics in microsurgery. *Journal of Surgical Oncology*, 118(5), 840–844. <https://doi.org/10.1002/jso.25197>
- Lannon, D. A., Atkins, J. A., & Butler, P. E. M. (2001). Non-vital, prosthetic, and virtual reality models of microsurgical training. *Microsurgery*, 21(8), 389–393. <https://doi.org/10.1002/micr.21709>
- LASCAR, I., TOTIR, D., CINCA, A., CORTAN, S., STEFANESCU, A., BRATIANU, R., ...

- ZAMFIRESCU, D. G. (2007). TRAINING PROGRAM AND LEARNING CURVE IN EXPERIMENTAL MICROSURGERY DURING THE RESIDENCY IN PLASTIC SURGERY. *Microsurgery*, 504–506. <https://doi.org/10.1002/micr>
- Lausada, N. R., Escudero, E., Lamonega, R., Dreizzen, E., & Raimondi, J. C. (2005). Use of cryopreserved rat arteries for microsurgical training. *Microsurgery*, 25(6), 500–501. <https://doi.org/10.1002/micr.20153>
- Liczbiak, O., Goertz, S., & Al. et. (2019). From magnifying glasses to operative microscope – the past and the present of microsurgery. *Pol J Pathol*, 70(1), 14–20.
- Menozzi, M., Neumayer, N., Huang, Y.-Y., Watanabe, A., Oyama, H., Fujimaki, G., ... Noro, K. (2018). Ergonomic aspects in the design of instrumentation for ophthalmic microsurgery Aspekte der Ergonomie bei der Gestaltung von Instrumenten der ophthalmologischen Mikrochirurgie. *Zeitschrift Für Arbeitswissenschaft*, 73(1), 23–34. <https://doi.org/10.1007/s41449-018-00135-w>
- Mikami, T., Suzuki, H., Ukai, R., Komatsu, K., Kimura, Y., Akiyama, Y., ... Mikuni, N. (2018). Surgical Anatomy of Rats for the Training of Microvascular Anastomosis. *World Neurosurgery*, 120, e1310–e1318. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.09.071>
- Nikola Biller-Andorno, H. G. & R. L. W. (2015). Professionalism and ethics in animal research. *NATURE BIOTECHNOLOGY*.
- Olijnyk, L. D., Patel, K., Brandão, M. R., de Moraes, A. N. L., de Carvalho, R. F., Severino, A. G., ... Stefani, M. A. (2019). The Role of Low-Cost Microsurgical Training Models and Experience with Exercises Based on a Bovine Heart. *World Neurosurgery*, 130, 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.06.089>
- PRATT, G. F., ROZEN, W. M., WESTWOOD, A., HANCOCK, A., CHUBB, D., ASHTON, M. W., & WHITAKER, I. S. (2012). TECHNOLOGY-ASSISTED AND SUTURELESS MICROVASCULAR ANASTOMOSES: EVIDENCE FOR CURRENT TECHNIQUES. *Microsurgery*, 504–506. <https://doi.org/10.1002/micr>
- Prunières, G. J. C., Taleb, C., Hendriks, S., Miyamoto, H., Kuroshima, N., Liverneaux, P. A., & Facca, S. (2014). Use of the Konnyaku Shirataki noodle as a low fidelity simulation training model for microvascular surgery in the operating theatre. *Chirurgie de La Main*, 33(2), 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.main.2013.12.003>
- Rodriguez, J. R., Yañez, R., Cifuentes, I., Varas, J., & Dagnino, B. (2016). Microsurgery Workout: A Novel Simulation Training Curriculum Based on Nonliving Models. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 138(4), 739e-747e. <https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000002456>
- Safi, A. F., Safi, S., Tayeh, M., Timmer, M., Goldbrunner, R., & Kauke, M. (2018). A novel microsurgical anastomosis training model using gradually thawed cryopreserved microvessels of rat cadavers. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 46(7), 1126–1131.

<https://doi.org/10.1016/j.jcms.2018.05.018>

- Schöffl, H., Froschauer, S. M., Dunst, K. M., Hager, D., Kwasny, O., & Huemer, G. M. (2008). *Strategies for the Reduction of Live Animal Use in Microsurgical Training and Education*.
- Schultheiss, D., & Denil, J. (2002). History of the microscope and development of microsurgery: A revolution for reproductive tract surgery. *Andrologia*, 34(4), 234–241. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0272.2002.00499.x>
- Shurey, S., Akelina, Y., Legagneux, J., Malzone, G., Jiga, L., & Ghanem, A. M. (2014). The rat model in microsurgery education: Classical exercises and new horizons. *Archives of Plastic Surgery*, 41(3), 201–208. <https://doi.org/10.5999/aps.2014.41.3.201>
- Singh, M., Ziolkowski, N., Ramachandran, S., Myers, S. R., & Ghanem, A. M. (2014). Development of a five-day basic microsurgery simulation training course: A cost analysis. *Archives of Plastic Surgery*, 41(3), 213–217. <https://doi.org/10.5999/aps.2014.41.3.213>
- Singh, R., Suri, A., Baby, B., & Centre, S. A. (2017). *Surgeon Specific Ergonomically Enhanced Micro-forceps for Micro-neurosurgery*.
- Spetzger, U., Schilling, A. von, Brombach, T., & Winkler, G. (2011). *Training Models for Vascular Microneurosurgery*. 112(15), 1–4. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0661-7>
- Theman, T. A., & Labow, B. I. (2016). Is There Bias against Simulation in Microsurgery Training? *Journal of Reconstructive Microsurgery*, 32(7), 540–545. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1582263>
- Tolba, R. H., Czigány, Z., Osorio Lujan, S., Oltean, M., Axelsson, M., Akelina, Y., ... Nemeth, N. (2017). Defining Standards in Experimental Microsurgical Training: Recommendations of the European Society for Surgical Research (ESSR) and the International Society for Experimental Microsurgery (ISEM). *European Surgical Research*, 58(5–6), 246–262. <https://doi.org/10.1159/000479005>
- Trignano, E., Fallico, N., Zingone, G., Dessy, L. A., & Campus, G. V. (2017). Microsurgical Training with the Three-Step Approach. *Journal of Reconstructive Microsurgery*, 33(2), 087–091. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1592428>
- Vinagre, G., Villa, J., & Amillo, S. (2017). Microsurgery Training: Does It Improve Surgical Skills? *Journal of Hand and Microsurgery*, 09(01), 047–048. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1599222>
- Woan-Yi Chan, Matteucci, P., & Southern, S. J. (2007). *VALIDATION OF MICROSURGICAL MODELS IN MICROSURGERY TRAINING AND COMPETENCE: A REVIEW*. <https://doi.org/10.1002/micr>
- Yadav, Y. R., Parihar, V., Ratre, S., Kher, Y., & Iqbal, M. (2015). Microneurosurgical Skills Training. *Journal of Neurological Surgery, Part A: Central European Neurosurgery*, 77(2), 146–154. <https://doi.org/10.1055/s-0034-1376190>

- Yin, X., Ye, G., Lu, J., Wang, L., Qi, P., Wang, H., ... Wang, D. (2019). A Novel Rat Model for Comprehensive Microvascular Training of End-to-End, End-to-Side, and Side-to-Side Anastomoses. *Journal of Reconstructive Microsurgery*, 35(7), 499–504. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1679957>
- Abi-Rafeh, J., Zammit, D., Mojtahed Jaber, M., Al-Halabi, B., & Thibaudeau, S. (2019). Nonbiological Microsurgery Simulators in Plastic Surgery Training: A Systematic Review. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 496E-507E. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000005990>
- Andersen, M. L., & Winter, L. M. F. (2017). Animal models in biological and biomedical research – experimental and ethical concerns. *Anais Da Academia Brasileira de Ciencias*, 91, 1–14. <https://doi.org/10.1590/0001-3765201720170238>
- Balasundaram, I., Aggarwal, R., & Darzi, L. A. (2010). Development of a training curriculum for microsurgery. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 48(8), 598–606. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2009.11.010>
- Bas, C. E., Cwykiel, J., & Siemionow, M. (2017). A New Supermicrosurgery Training Model of Saphenous Artery and Great Saphenous Vein Anastomosis for Development of Advanced Microsurgical Skills. *Journal of Reconstructive Microsurgery*, 33(6), 426–434. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1599101>
- Beris, A., Kostas-agnantis, I., Gkiatas, I., & Gatsios, D. (2020). Microsurgery training: A combined educational program. *Injury*, (xxxx), 3–6. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2020.03.016>
- Brown, J. S., & Rapaport, B. H. J. (2019). Role of live animals in the training of microvascular surgery: a systematic review. *British Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*, 57(7), 616–619. <https://doi.org/10.1016/j.bjoms.2019.06.003>
- Camargo, C. P., e Silva, D. I. de S. B. de C., Maluf, F. C., Morais-Besteiro, J., & Gemperli, R. (2017). A non-living, effective model for microvascular training. *Acta Cirurgica Brasileira*, 32(12), 1087–1092. <https://doi.org/10.1590/s0102-865020170120000010>
- Chung, S. B., Ryu, J., Chung, Y., Lee, S. H., & Choi, S. K. (2017). An Affordable Microsurgical Training System for a Beginning Neurosurgeon: How to Realize the Self-Training Laboratory. *World Neurosurgery*, 105, 369–374. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2017.05.174>
- Couto, M. (2011). Vertebrate Embryogenesis. *Reptile Embryology*, 770(1), 439–455. <https://doi.org/10.1007/978-1-61779-210-6>
- Evgeniou, E., Walker, H., & Gujral, S. (2018). The Role of Simulation in Microsurgical Training. *Journal of Surgical Education*, 75(1), 171–181. <https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2017.06.032>
- Franck, F. M., Trelles, M., Lewbart, G. A., & Vögelin, E. (2013). Is there good simulation basic training for end-to-side vascular microanastomoses? *Aesthetic Plastic Surgery*, 37(2), 454–458.

<https://doi.org/10.1007/s00266-012-0005-0>

- G., J. U., Sánchez, F., Calles, M., & C, J. U. (2009). Manual de Microcirugía Vascular y Nerviosa. *Centro de Cirurgia de Minima Invasión*, (2 edición).
- Gross, D., & Tolba, R. H. (2015). *Ethics in Animal-Based Research*.
- Guerreschi, P., Qassemyar, A., Thevenet, J., Hubert, T., Fontaine, C., & Duquennoy-Martinot, V. (2014). Reducing the number of animals used for microsurgery training programs by using a task-trainer simulator. *Laboratory Animals*, 48(1), 72–77. <https://doi.org/10.1177/0023677213514045>
- Ha, Y., Song, S. H., Kang, N. H., & Oh, S. H. (2018). Proper Choice of Vessels for Supermicrosurgery Training: An Experimental Animal study. *Journal of Reconstructive Microsurgery*, 34(9), 742–748. <https://doi.org/10.1055/s-0038-1648221>
- Harper, L., Herbst, K. W., & Kalfa, N. (2017). Ethical issues in research: Human and animal experimentation. *Journal of Pediatric Urology*, 14(3), 287–288. <https://doi.org/10.1016/j.jpuro.2017.12.012>
- Hermiyanty, Wandira Ayu Bertin, D. S. (2017). 濟無No Title No Title. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 8(9), 1–58. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Ilie, V. G., ILIE, V. I., DOBREANU, C., GHETU, N., LUCHIAN, S., Fellow, E., & PIEPTU, D. (2008). TRAINING OF MICROSURGICAL SKILLS ON NONLIVING MODELS. <https://doi.org/10.1002/micr>
- Kanazawa, R., & Teramoto, A. (2009). The realization of preferable operative working space through the microsurgical training with rats-the importance of the process. *Surgical Neurology*, 71(3), 380–387. <https://doi.org/10.1016/j.surneu.2007.09.039>
- Kao, J. Y., Chen, Y. R., & Chang, S. S. (2018). A simple and novel technique for training in microvascular suturing in a rat model. *Asian Journal of Surgery*, 42(1), 409–413. <https://doi.org/10.1016/j.asjsur.2018.05.005>
- Kinshoku, M. R., Rodriguez, C. A. L., Fidalgo, R. de S., Duran, C. C. G., Leme, P. L. S., & Duarte, I. da S. (2012). Uso racional de modelos animais para pesquisa e ensino de microcirurgia. *Revista Do Colegio Brasileiro de Cirurgioes*, 39(5), 414–417. <https://doi.org/10.1590/S0100-69912012000500013>
- Konofaos, P., Bassilios Habre, S., & Wallace, R. D. (2018). End-to-Side Nerve Repair: Current Concepts and Future Perspectives. *Annals of Plastic Surgery*, 81(6), 736–740. <https://doi.org/10.1097/SAP.0000000000001663>
- Lakhiani, C., Fisher, S. M., Janhofer, D. E., & Song, D. H. (2018). Ergonomics in microsurgery. *Journal of Surgical Oncology*, 118(5), 840–844. <https://doi.org/10.1002/jso.25197>

- Lannon, D. A., Atkins, J. A., & Butler, P. E. M. (2001). Non-vital, prosthetic, and virtual reality models of microsurgical training. *Microsurgery*, 21(8), 389–393. <https://doi.org/10.1002/micr.21709>
- LASCAR, I., TOTIR, D., CINCA, A., CORTAN, S., STEFANESCU, A., BRATIANU, R., ... ZAMFIRESCU, D. G. (2007). TRAINING PROGRAM AND LEARNING CURVE IN EXPERIMENTAL MICROSURGERY DURING THE RESIDENCY IN PLASTIC SURGERY. *Microsurgery*, 504–506. <https://doi.org/10.1002/micr>
- Lausada, N. R., Escudero, E., Lamonega, R., Dreizzen, E., & Raimondi, J. C. (2005). Use of cryopreserved rat arteries for microsurgical training. *Microsurgery*, 25(6), 500–501. <https://doi.org/10.1002/micr.20153>
- Liczbiak, O., Goertz, S., & Al.et. (2019). From magnifying glasses to operative microscope – the past and the present of microsurgery. *Pol J Pathol*, 70(1), 14–20.
- Menozi, M., Neumayer, N., Huang, Y.-Y., Watanabe, A., Oyama, H., Fujimaki, G., ... Noro, K. (2018). Ergonomic aspects in the design of instrumentation for ophthalmic microsurgery Aspekte der Ergonomie bei der Gestaltung von Instrumenten der ophthalmologischen Mikrochirurgie. *Zeitschrift Für Arbeitswissenschaft*, 73(1), 23–34. <https://doi.org/10.1007/s41449-018-00135-w>
- Mikami, T., Suzuki, H., Ukai, R., Komatsu, K., Kimura, Y., Akiyama, Y., ... Mikuni, N. (2018). Surgical Anatomy of Rats for the Training of Microvascular Anastomosis. *World Neurosurgery*, 120, e1310–e1318. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.09.071>
- Nikola Biller-Andorno, H. G. & R. L. W. (2015). Professionalism and ethics in animal research. *NATURE BIOTECHNOLOGY*.
- Olijnyk, L. D., Patel, K., Brandão, M. R., de Moraes, A. N. L., de Carvalho, R. F., Severino, A. G., ... Stefani, M. A. (2019). The Role of Low-Cost Microsurgical Training Models and Experience with Exercises Based on a Bovine Heart. *World Neurosurgery*, 130, 59–64. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.06.089>
- PRATT, G. F., ROZEN, W. M., WESTWOOD, A., HANCOCK, A., CHUBB, D., ASHTON, M. W., & WHITAKER, I. S. (2012). TECHNOLOGY-ASSISTED AND SUTURELESS MICROVASCULAR ANASTOMOSES: EVIDENCE FOR CURRENT TECHNIQUES. *Microsurgery*, 504–506. <https://doi.org/10.1002/micr>
- Prunières, G. J. C., Taleb, C., Hendriks, S., Miyamoto, H., Kuroshima, N., Liverneaux, P. A., & Facca, S. (2014). Use of the Konnyaku Shirataki noodle as a low fidelity simulation training model for microvascular surgery in the operating theatre. *Chirurgie de La Main*, 33(2), 106–111. <https://doi.org/10.1016/j.main.2013.12.003>
- Rodriguez, J. R., Yañez, R., Cifuentes, I., Varas, J., & Dagnino, B. (2016). Microsurgery Workout: A Novel Simulation Training Curriculum Based on Nonliving Models. *Plastic and Reconstructive Surgery*, 138(4), 739e–747e. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000002456>

- Safi, A. F., Safi, S., Tayeh, M., Timmer, M., Goldbrunner, R., & Kauke, M. (2018). A novel microsurgical anastomosis training model using gradually thawed cryopreserved microvessels of rat cadavers. *Journal of Cranio-Maxillofacial Surgery*, 46(7), 1126–1131. <https://doi.org/10.1016/j.jcms.2018.05.018>
- Schöffl, H., Froschauer, S. M., Dunst, K. M., Hager, D., Kwasny, O., & Huemer, G. M. (2008). *Strategies for the Reduction of Live Animal Use in Microsurgical Training and Education*.
- Schultheiss, D., & Denil, J. (2002). History of the microscope and development of microsurgery: A revolution for reproductive tract surgery. *Andrologia*, 34(4), 234–241. <https://doi.org/10.1046/j.1439-0272.2002.00499.x>
- Shurey, S., Akelina, Y., Legagneux, J., Malzone, G., Jiga, L., & Ghanem, A. M. (2014). The rat model in microsurgery education: Classical exercises and new horizons. *Archives of Plastic Surgery*, 41(3), 201–208. <https://doi.org/10.5999/aps.2014.41.3.201>
- Singh, M., Ziolkowski, N., Ramachandran, S., Myers, S. R., & Ghanem, A. M. (2014). Development of a five-day basic microsurgery simulation training course: A cost analysis. *Archives of Plastic Surgery*, 41(3), 213–217. <https://doi.org/10.5999/aps.2014.41.3.213>
- Singh, R., Suri, A., Baby, B., & Centre, S. A. (2017). *Surgeon Specific Ergonomically Enhanced Micro-forceps for Micro-neurosurgery*.
- Spetzger, U., Schilling, A. von, Brombach, T., & Winkler, G. (2011). *Training Models for Vascular Microneurosurgery*. 112(15), 1–4. <https://doi.org/10.1007/978-3-7091-0661-7>
- Theman, T. A., & Labow, B. I. (2016). Is There Bias against Simulation in Microsurgery Training? *Journal of Reconstructive Microsurgery*, 32(7), 540–545. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1582263>
- Tolba, R. H., Czigány, Z., Osorio Lujan, S., Oltean, M., Axelsson, M., Akelina, Y., ... Nemeth, N. (2017). Defining Standards in Experimental Microsurgical Training: Recommendations of the European Society for Surgical Research (ESSR) and the International Society for Experimental Microsurgery (ISEM). *European Surgical Research*, 58(5–6), 246–262. <https://doi.org/10.1159/000479005>
- Trignano, E., Fallico, N., Zingone, G., Dessy, L. A., & Campus, G. V. (2017). Microsurgical Training with the Three-Step Approach. *Journal of Reconstructive Microsurgery*, 33(2), 087–091. <https://doi.org/10.1055/s-0036-1592428>
- Vinagre, G., Villa, J., & Amillo, S. (2017). Microsurgery Training: Does It Improve Surgical Skills? *Journal of Hand and Microsurgery*, 09(01), 047–048. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1599222>
- Woan-Yi Chan, Matteucci, P., & Southern, S. J. (2007). *VALIDATION OF MICROSURGICAL MODELS IN MICROSURGERY TRAINING AND COMPETENCE: A REVIEW*. <https://doi.org/10.1002/micr>
- Yadav, Y. R., Parihar, V., Ratre, S., Kher, Y., & Iqbal, M. (2015). Microneurosurgical Skills Training.

Journal of Neurological Surgery, Part A: Central European Neurosurgery, 77(2), 146–154.
<https://doi.org/10.1055/s-0034-1376190>

Yin, X., Ye, G., Lu, J., Wang, L., Qi, P., Wang, H., ... Wang, D. (2019). A Novel Rat Model for Comprehensive Microvascular Training of End-to-End, End-to-Side, and Side-to-Side Anastomoses. *Journal of Reconstructive Microsurgery*, 35(7), 499–504. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1679957>

Liczbik, O., Goertz, S., Wiśniewski, J., Kurlandt, P., Libionka, W., Adamski, S., & Kloc, W. (2019). From magnifying glass to operative microscopy – the historical and modern role of the microscope in microsurgery. *Polish Journal Of Pathology*, 70(1), 14-20. doi: 10.5114/pjp.2019.84457