



Um Simulador de Artroscopia de Joelho Acessível


An Affordable Knee Arthroscopy Simulator

Paul André Alain Milcent¹ 

Alexandre Roberto Roman Coelho¹ 

Sthéphano Pellizzaro Rosa¹ 

Ygor Luiz Degraf da Fonseca¹ 

Andressa Zabudovski Schroeder¹ 

Edmar Stieven Filho¹ 

RESUMO

Introdução: O objetivo deste trabalho é descrever um modelo de simulador de artroscopia de joelho acessível, de baixo custo e facilmente reproduzível, com o intuito de permitir a difusão de metodologias de ensino ativas e treinamento mais eficazes. **Métodos:** Para a confecção da câmera artroscópica, foi utilizada uma câmera endoscópica para celulares e computadores modelo SXT-5.0M da fabricante KKMOON. Introduziu-se a câmera em um tubo de metal, o qual foi acoplado a um conjunto de três conectores hidráulicos de PVC de 20 mm para simular a empunhadura e camisa do artroscópio. A câmera tem resolução de 1.280 x 720 pixels e seis lâmpadas brancas de LED embutidas, simulando e dispensando a utilização de uma fonte de luz auxiliar. O modelo de joelho foi confeccionado a partir de um cano de PVC fixado em uma base de madeira, ao qual se acoplou um modelo de fêmur e tibia sintéticos. No corpo do cano de PVC, foram confeccionadas quatro perfurações de 3 cm de diâmetro, compatíveis com os portais artroscópicos habituais. Para os meniscos, fez-se um modelo em massa de modelar (Corfix®), até que as estruturas anatômicas estivessem próximas do real. O modelo é composto por ambos os meniscos e pela eminência intercondilar, simulando a superfície articular proximal da tibia. O modelo de massa de modelar foi a base para um molde em resina poliéster cristal fina. Com o molde em resina, os modelos meniscais foram confeccionados com borracha de silicone para moldes do tipo II, amplamente utilizados na indústria e no artesanato. **Resultados:** Obteve-se um simulador funcional e reproduzível, composto de um modelo de joelho e uma câmera artroscópica. Tal simulador funciona adequadamente adaptado a uma TV, um monitor ou computador e permite a simulação de procedimentos diagnósticos, meniscectomia e meniscoplastia. **Conclusão:** É possível desenvolver um simulador de artroscopia de joelho, com peças disponíveis em comércio local e eletrônico, por um valor aproximado de R\$ 300,00.

PALAVRAS-CHAVE

- Artroscopia.
- Simulação.
- Treinamento por simulação.
- Menisco.
- Joelho.

KEYWORDS

- Arthroscopy.
- Simulation.
- Simulation training.
- Meniscus.
- Knee.

ABSTRACT

Introduction: The objective of this study is to describe a model of knee arthroscopy simulator that is affordable, low-cost and easily reproducible, aiming to enable the diffusion of more effective active teaching and training methodologies. **Methods:** For the creation of the arthroscopic camera, an endoscopic camera for mobile phones and computers model SXT-5.0M manufactured by KKMOON were used. The camera was introduced in a metal tube, which was coupled to a set of three 20 mm PVC hydraulic connectors to simulate the handle and sleeve of the arthroscope. The camera has a resolution of 1280 x 720 pixels and is equipped with six built-in white LED lamps, simulating and eliminating the need to use an additional light source. The knee model was developed using a PVC pipe fixed on a wooden support, to which synthetic femur and tibia models were affixed. Four three-centimeter diameter holes, compatible with the standard arthroscopic portals, were made in the body of the PVC pipe. For the menisci, a model was made out of modeling clay (Corfix®), until the anatomical structures were close to the real ones. The model consists of both menisci and the intercondylar eminence, simulating the proximal tibial articular surface. The model made out of modeling clay was the basis for the production of a thin Crystal Polyester Resin mold. Using the resin mold, the meniscal models were made of Silicone Rubber Type II, widely used in industry and crafts. **Results:** A functional and reproducible simulator was obtained, consisting of a knee model and an arthroscopic camera. The simulator works adequately adapted to a TV, monitor or computer, and allows the simulation of diagnostic procedures, meniscectomy and meniscoplasty. **Conclusion:** It is possible to develop a knee arthroscopy simulator, with components available in local and electronic commerce, at a cost of approximately R\$ 300.

Recebido em 22/10/19

Aceito em 10/12/19

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento de abordagens minimamente invasivas permitiu grandes avanços no campo da cirurgia, diminuindo a morbidade ao paciente e melhorando os resultados pós-operatórios. Na ortopedia, a popularização da artroscopia desde meados da década de 1980 promoveu uma revolução no tratamento das patologias intra-articulares, sendo atualmente um dos procedimentos cirúrgicos mais realizados no mundo. Nesse tipo de abordagem, a visualização das estruturas internas e dos instrumentos cirúrgicos utilizados se dá por meio de uma câmera, com tais materiais sendo introduzidos na articulação através de pequenas incisões na pele¹.

Por causa das habilidades necessárias e das particularidades da técnica, a curva de aprendizado da artroscopia pode ser alongada, fazendo com que sua metodologia de treinamento seja alvo de constante atenção. No método tradicional de treinamento, o aluno acompanha cirurgias feitas por cirurgiões mais experientes e gradualmente realiza procedimentos mais complexos sob supervisão^{2,3}. Essa abordagem, porém, apresenta uma série de desvantagens tanto pelo aumento nos riscos e tempo cirúrgico quanto pelo desconforto dos pacientes em serem tratados por cirurgiões em treinamento. Há ainda restrições no número de médicos que podem ser treinados nessa condição, haja vista o limite de pessoas na sala cirúrgica¹.

Alternativas ao treinamento artroscópico *in vivo* incluem o uso de cadáveres, animais, modelos secos e de realidade virtual. Os modelos cadavéricos, apesar de serem os mais fidedignos, têm problemas de custo, disponibilidade e armazenamento, bem como o potencial risco biológico⁴. Experimentos com animais apresentam dificuldades logísticas, como manejo e descarte, além de questões éticas e diferenças anatômicas. Modelos de realidade virtual podem simular o ambiente tridimensional da artroscopia, porém têm como seu principal fator limitante o alto custo e o *feedback* tátil. Nesse contexto, o uso de modelos secos surge como alternativa viável, ao passo que é possível reduzir a curva de aprendizado e melhorar as habilidades cirúrgicas, sendo comparável ao treinamento em cadáveres⁵.

O aprendizado em simuladores tem sido identificado como uma forma confiável de melhorar o treinamento ortopédico^{6,7}. A simulação em artroscopia é capaz de melhorar as habilidades cirúrgicas, permitindo o treinamento fora do centro cirúrgico e até mesmo o teste de novos instrumentais, mas o custo dos simuladores é uma barreira importante para muitas realidades⁸⁻¹⁰.

O objetivo deste trabalho é descrever um modelo de simulador de artroscopia de joelho acessível, de baixo custo e facilmente reprodutível, com o intuito de permitir a difusão de metodologias de ensino ativas e treinamento mais eficazes.

MATERIAIS E MÉTODOS

Câmera e ótica

Para a confecção da câmera artroscópica, utilizamos uma câmera endoscópica para celulares e computadores modelo SXT-5.0M da fabricante KKMOON. Tal escolha se deu por conta de fatores como disponibilidade, custos, dimensões e maleabilidade, permitindo a elaboração de um instrumental funcionalmente próximo ao artroscópio habitual por um preço aproximado de R\$ 50,00.

A câmera tem resolução de 1.280 x 720 *pixels* e seis lâmpadas brancas de LED embutidas, simulando e dispensando a utilização de uma fonte de luz auxiliar. Sua extremidade apresenta revestimento metálico para maior durabilidade, o qual foi dobrado em angulação de 30° para simular o ângulo de inclinação habitual de um artroscópio. Introduziu-se a câmera em um tubo de alumínio de 5 mm de diâmetro e 25 cm de comprimento (simulando o corpo do artroscópio) cujas extremidades foram alinhadas e fixadas com adesivo acrílico. Para a fixação do cabo da câmera ao longo do interior do tubo metálico, três perfurações foram realizadas com broca, sendo introduzidos três pequenos parafusos metálicos (alternativamente, o tubo pode ser preenchido com adesivo acrílico, oferecendo também boa fixação).

Para simular a empunhadura e a camisa do artroscópio, a outra extremidade do tubo metálico foi introduzida em um conjunto de três conectores hidráulicos de PVC de 20 mm (conector em “T” 90°, adaptador soldável e joelho 90°), fixando-se as estruturas com resina poliéster cristal. Por fim, a câmera foi conectada a um monitor, utilizando-se um adaptador USB que vem com câmera (Figura 1).

Modelo de joelho

O simulador foi projetado mimetizando um joelho direito. O material utilizado para a confecção do joelho foi um cano de PVC, chamado na indústria da construção civil pelo homônimo joelho 90°, 150 mm com visita para 75, em que 150 mm se refere à bitola das extremidades do cano e 75 à bitola de um orifício de abertura superior, permitindo a entrada de luz (Figura 2).

A extremidade proximal do tubo foi fechada com um tampão de PVC específico chamado CAP 150 mm, no qual se fixou um modelo de fêmur sintético direito, formando a parte proximal do joelho. A extremidade distal foi fechada com uma base de madeira, na qual se fixou uma tíbia

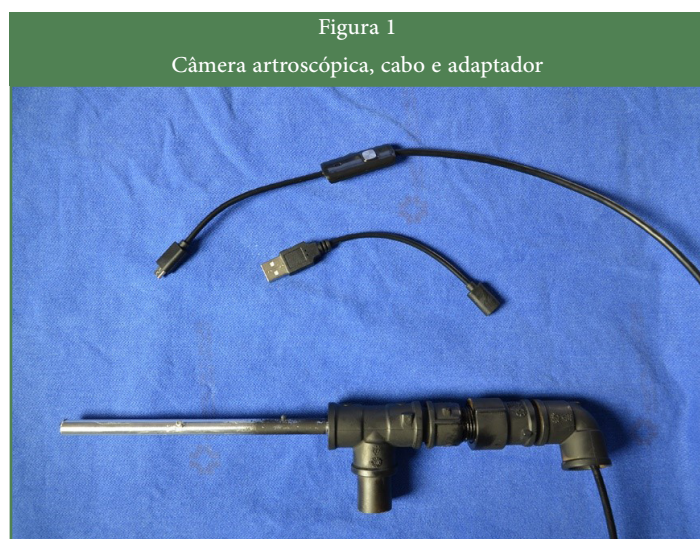
proximal sintética direita, com parafusos e uma placa metálica em “L”. No corpo do cano de PVC, foram confeccionadas quatro perfurações de 3 cm de diâmetro, compatíveis com os portais anterolateral, anteromedial, posterolateral e posteromedial. A tíbia e o fêmur foram adquiridos em comércio eletrônico (Nacional Ossos®) (Figura 3).

Menisco

Para os meniscos, fez-se um modelo em massa de modelar (Corfix®) até que as estruturas anatômicas estivessem próximas do real. O modelo é composto por ambos os meniscos e pela eminência intercondilar, simulando a superfície articular proximal da tíbia. O modelo de massa de modelar foi a base para um molde em resina poliéster cristal fina (Figura 4).

Com o molde em resina, os modelos meniscais foram confeccionados com borracha de silicone para moldes do tipo II, amplamente utilizados na indústria e no artesanato.

A fixação dos modelos na base da tíbia proximal é realizada através de quatro pregos metálicos (Figura 5).



Fonte: o autor.



Fonte: o autor.



Fonte: o autor.



Fonte: o autor.

Figura 5

Modelo meniscal em silicone fixado na tíbia proximal



Fonte: o autor.

Figura 6

Simulador em uso



Fonte: o autor.

RESULTADO

O simulador funciona adequadamente adaptado a uma TV, um monitor ou um computador, usando a versão gratuita do *software* Debut Video Capture® (Figura 6).

Os custos do simulador, incluindo o modelo de joelho sintético, a câmera com seu adaptador e os materiais diversos para a confecção da estrutura externa e dos meniscos, foram da ordem de R\$ 310,00, conforme mostra a Tabela 1.

DISCUSSÃO

Na artroscopia, a aquisição das imagens é feita através uma ótica, associada a uma câmera de vídeo e uma fonte de luz. A ótica consiste em um tubo metálico contendo uma série de lentes. A lente da ótica de artroscopia tem uma angulação em relação ao seu eixo longo, com o objetivo de aumentar o campo de visão do cirurgião (ao rodar a ótica, percorre-se a articulação na razão do ângulo estabelecido). Embora existam óticas de 0° a 70° de angulação, a mais utilizada é de 30°¹¹. Nesse caso, simulamos o ângulo da ótica abrindo a câmera endoscópica e dobrando sua extremidade. O processo de confecção da angulação final é um dos processos mais trabalhosos. Uma possibilidade seria a confecção de um simulador de câmera deixando a ótica a 0°. Não seria tão próximo do real, mas para treinamentos básicos pode ser suficiente.

Um dos problemas com o modelo de câmera desenvolvido é que ele não tem o jogo de lentes da ótica artroscópica. Isso faz com que os movimentos de rotação da ótica não sejam possíveis na câmera simulada. Mesmo com essa limitação, consideramos importante manter a câmera simulada, pois é a peça de maior custo e com baixa durabilidade. A substituição por um material de baixo custo pode trazer tranquilidade nos treinamentos de pessoas inexperientes, principalmente quando se está com um número grande de indivíduos sob supervisão ao mesmo tempo.

No processo inicial de elaboração da câmera simulada, adquirimos uma câmera de automotiva de ré, a qual nos proporcionou imagem invertida do que estava sendo captado. Esse impasse foi solucionado com a troca do dispositivo por uma câmera automotiva de frente, porém esta apresentava limitações quanto ao fato de a imagem ser analógica, sendo necessário o uso de adaptadores para uso monitores digitais. Além disso,

Tabela 1
Custo do simulador

Item	Valor (R\$)
Modelo anatômico de joelho sintético	100,00
Câmera endoscópica para celulares + adaptador	50,00
Tubo de alumínio de 5 mm	20,00
Tubos e conectores em PVC	60,00
Adesivo acrílico	15,00
Resina de poliéster cristal	25,00
Borracha de silicone para moldes do tipo II	30,00
Pregos e parafusos	5,00
Placas de madeira	5,00
Total	310,00

Fonte: o autor.

a câmera de automotiva necessita de uma fonte externa de luz.

Passamos a testar uma série de *webcams*, mas esbarramos na questão das grandes dimensões e de não ser possível uma angulação na sua extremidade. Assim, consideramos que *webcams*, de forma geral, não cumprem com esse propósito. Em uma segunda etapa, usamos câmeras automotivas. As imagens eram boas, mas os movimentos no monitor estavam confusos. Notamos que estávamos usando câmeras de ré, o que logicamente tornava os movimentos invertidos. Adquirimos câmeras automotivas de frente que solucionaram o problema, porém ainda há pontos que não nos agradaram. O primeiro ponto refere-se ao fato de elas serem grandes para o padrão de uma câmera astrocópica, apesar de terem uma dimensão bem menor que uma *webcam*. O segundo ponto tem a ver com o fato de elas serem analógicas, logo precisam de um conversor para que possam conectadas em um monitor digital. Como terceiro ponto, elas não têm fonte de luz própria, o que exige a adição de uma luz auxiliar. Contudo, para quem quer usar um simulador conectado a um monitor analógico (televisões antigas), essa pode ser uma boa opção.

Por fim, a escolha da câmera endoscópica para celulares propiciou a confecção dos 30° de angulação, pois tem fonte de luz própria e é alimentada pelo mesmo cabo USB que conduz a imagem. Além disso, tem dimensões próximas às da câmera original, mantendo as características desejadas de baixo custo e disponibilidade. Usamos uma câmera endoscópica SXT-5.0M da fabricante KKMoon, mas acreditamos que qualquer câmera endoscópica para celular será adequada a esse uso.

Na cirurgia aberta, o cirurgião manipula os instrumentais sob visualização direta. Na cirurgia artroscópica, em contrapartida, o cirurgião deve navegar o instrumental dentro da articulação com visualização através das imagens projetadas em uma tela. Esse processo de encontrar ambos, câmera e instrumental, sem olhar diretamente para eles, é chamado de triangulação¹¹. A manipulação artroscópica deve ser realizado com cautela, já que a dimensão ampliada do monitor pode enganar o cirurgião, levando a lesões iatrogênicas, como danos na cartilagem articular¹². Dessa forma, a artroscopia requer treinamento específico, o que inclui a capacidade visual para interpretar estruturas tridimensionais a partir de imagens em duas dimensões e aumentadas, além da coordenação para triangular¹³⁻¹⁶. Esse treinamento pode ser feito no simulador, economizando tempo de aprendizado no centro cirúrgico e no paciente.

O uso de simuladores pode permitir esse aprendizado em ambiente seguro, porém medidas objetivas e padronizadas de avaliação de *performance* e desenvolvimento ainda precisam ser validadas. Embora possa parecer lógico que os simuladores em artroscopia sejam úteis no desenvolvimento de habilidades psicomotoras, a transição da simulação para a cirurgia *in vivo* carece de dados.

Nosso modelo de simulador de artroscopia de joelho tem como principal ponto positivo a acessibilidade. Quanto mais simples for um simulador, mais fácil será incorporá-lo ao treinamento diário¹⁷. Outro aspecto importante é manter as habilidades adquiridas com qualquer meio de treinamento. Sabe-se que, apesar de as atividades com simuladores serem capazes de melhorar as habilidades, após um ano esse efeito é perdido¹⁸. Assim, quando o simulador é facilmente disponível, há uma chance maior de treinamento contínuo nos serviços de ensino médico.

Encontra-se disponível na literatura outro trabalho que desenvolveu um simulador artroscópico baseado nos mesmos princípios de acessibilidade, porém utilizando uma *webcam* e uma caixa de papelão⁸.

Quando comparamos o simulador deste trabalho com o simulador com caixa de papelão, podemos dizer que ambos têm a acessibilidade como objetivo, porém a caixa de papelão é mais acessível que as peças sintéticas de fêmur e tibia⁸. A vantagem do simulador com peças sintéticas seria a maior semelhança com os procedimentos ortopédicos reais, no caso específico, a artroscopia de joelho. A caixa de papelão produziria um treino mais abrangente, enquanto no simulador de joelho este é mais focado. Logo pode-se escolher o modelo a ser usado conforme a intenção do treinamento. Essa escolha estará embasada em dados subjetivos, já que não há na literatura os padrões de como devem ser os treinamentos em simuladores para procedimentos artroscópicos.

Na confecção do menisco, o silicone foi escolhido para uso porque tem uma consistência muito parecida com o menisco. A confecção do molde é trabalhosa, mas consiste em um trabalho único. Uma vez que os moldes estiverem à disposição, eles poderão ser reutilizados indefinidamente. Uma pessoa com boas habilidades artísticas pode resolver esse problema.

Uma solução alternativa seria imprimir o molde em impressora 3D. Para isso, precisaríamos do arquivo do molde e de uma impressora. Nesse caso, também seria necessário que a tibia fosse impressa, pois o molde de menisco e a tibia devem ter tamanhos compatíveis. Acreditamos que o acesso à impressora 3D e as habilidades necessárias para operá-la ainda são fatores que diminuem a acessibilidade, embora, para muitas realidades e para um futuro próximo, seja uma boa opção. Uma última alternativa é a compra dos modelos de menisco, porém isso aumentaria o custo por treinamento.

Não vislumbramos a possibilidade de produzir alternativas similares às peças de mão, como apalpador, pinças tipo *grasper* e tesouras artroscópicas, motivo pelo qual se sugere o uso desses instrumentos originais. Também acreditamos que o simulador sintético limita o aprendizado de determinados passos cirúrgicos. Por meio desse método, não é possível treinar pontos como acesso cirúrgico e posicionamento do paciente. Por fim, uma futura validação do simulador como uma ferramenta de treinamento se faz necessária.

CONCLUSÃO

É possível desenvolver um simulador de artroscopia de joelho, com peças disponíveis em comércio local e eletrônico, por valor aproximado de R\$ 300,00.

REFERÊNCIAS

1. Bayona S, Espadero J, Pastor L, Fernandez-Arroyo JM. A low-cost arthroscopy surgery training system. In: 3rd International Conference on Visualization, Imaging and Image Processing; 2003; Benalmadena, Spain. Benalmadena, Spain: Iasted; 2003 [acesso em 6 jun 2019]. Disponível em: http://insightarthrovr.gmv.com/noticias_publicaciones/articulos/art-IAESTED.pdf.
2. Insel A, Carofino B, Leger R, Arciero R, Mazzocca AD. The development of an objective model to assess arthroscopic performance. *J Bone Joint Surg Am* 2009;91(9):2287-95.
3. Gorman PJ, Meier AH, Krummel TM. Simulation and virtual reality in surgical education: real or unreal? *Arch. surg.* 1999;134(11):1203-8.
4. Butler A, Olson T, Koehler R, Nicandri G. Do the skills acquired by novice surgeons using anatomic dry models transfer effectively to the task of diagnostic knee arthroscopy performed on cadaveric specimens? *J Bone Joint Surg Am* 2013;95(3):e15(1-8).

5. Anastakis DJ, Regehr G, Reznick RK, Cusimano M, Murnaghan J, Brown M, et al. Assessment of technical skills transfer from the bench training model to the human model. *Am. j. surg.* 1999;177(2):167-70.
6. Cannon WD, Garrett Jr WE, Hunter RE, Sweeney HJ, Eckhoff DG, Nicandri GT, et al. Improving residency training in arthroscopic knee surgery with use of a virtual-reality simulator. A randomized blinded study. *J Bone Joint Surg Am* 2014;96(21):1798-806.
7. Aïm F, Lonjon G, Hannouche D, Nizard R. Effectiveness of virtual reality training in orthopaedic surgery. *Arthroscopy* 2016;32(1):224-32.
8. Arealis G, Holton J, Rodrigues JB, Sagkrioti M, Snow M, Hamlet M, et al. How to build your simple and cost-effective arthroscopic skills simulator. *Arthrosc Tech* 2016;5(5):e1039-e1047.
9. Frank RM, Erickson B, Frank JM, Bush-Joseph CA, Bach Jr BR, Cole BJ, et al. Utility of modern arthroscopic simulator training models. *Arthroscopy* 2014;30(1):121-33.
10. Rebolledo BJ, Hammann-Scala J, Leali A, Ranawat AS. Arthroscopy skills development with a surgical simulator: a comparative study in orthopaedic surgery residents. *Am. j. sports med.* 2015;43(6):1526-9.
11. Hollands RJ, Trowbridge EA. A virtual reality training tool for the arthroscopic treatment of knee disabilities. Maidenhead, UK: Conf. Disability, Virtual Reality & Assoc. Tech.; 1996 [acesso em 6 jun 2019]. Disponível em: http://www.icdvrat.org/1996/papers/1996_16.pdf.
12. Bamford DJ, Paul AS, Noble J, Davies DR. Avoidable complications of arthroscopic surgery. *J R Coll Surg Edinb* 1993;38(2):92-5.
13. Pedowitz RA, Esch J, Snyder S. Evaluation of a virtual reality simulator for arthroscopy skills development. *Arthroscopy* 2002;18(6).
14. Hodgins JL, Veillette C. Arthroscopic proficiency: methods in evaluating competency. *BMC med. educ.* 2013;13.
15. Obdeijn MC, Bavinck N, Mathoulin C, van der Horst CM, Schijven MP, Tuijthof GJ. Education in wrist arthroscopy: past, present and future. *Knee surg. sports traumatol. arthrosc.* 2015;23(5):1337-45.
16. Jackson RW. The introduction of arthroscopy to North America. *Clin. orthop. relat. res.* 2000;(374):183-6.
17. Braman JP, Sweet RM, Hananel DM, Ludewig PM, Van Heest AE. Development and validation of a basic arthroscopy skills simulator. *Arthroscopy* 2015;31(1):104-12.
18. Dunn JC, Belmont PJ, Lanzi J, Martin K, Bader J, Owens B, et al. Arthroscopic shoulder surgical simulation training curriculum: transfer reliability and maintenance of skill over time. *J. surg. educ.* 2015;72(6):1118-23.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram na obtenção dos dados, na análise e interpretação, na elaboração do manuscrito e na revisão crítica.

CONFLITO DE INTERESSES

Os autores declaram não haver conflito de interesses neste estudo.

ENDEREÇO PARA CORRESPONDÊNCIA

Edmar Stieven Filho. Complexo Hospital de Clínicas, Universidade Federal do Paraná, 6º andar, Ortopedia e Traumatologia, Rua General Carneiro, 181, Alto da Glória, Curitiba, PR, Brasil. CEP: 80060-900.

E-mail: filho2000@gmail.com