

Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais

Lucas Viana Quites

Visão computacional orientando técnica
microcirúrgica em simulador ex-vivo

Belo Horizonte
Minas Gerais

Visão computacional orientando técnica microcirúrgica em simulador ex-vivo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciências Aplicadas à Cirurgia e à Oftalmologia da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito parcial para a obtenção do grau de Mestre.

Linha de Pesquisa: Modelos Clínicos e Experimentais em Técnica Cirúrgica.

Orientador : Prof. Marcelo Magaldi Ribeiro de Oliveira

Belo Horizonte,
Faculdade de medicina da UFMG 2020

Q8v Quites, Lucas Viana.
Visão computacional orientando técnica microcirúrgica em simulador ex-vivo [manuscrito]. / Lucas Viana Quites. - - Belo Horizonte: 2020.
20f.: il.
Orientador (a): Marcelo Magaldi de Oliveira.
Área de concentração: Cicatrização.
Dissertação (mestrado): Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Medicina.

1. Microcirurgia. 2. Inteligência Artificial. 3. Treinamento com Simulação de Alta Fidelidade. 4. Neurocirurgia. 5. Dissertação Acadêmica. I. Oliveira, Marcelo Magaldi de. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Faculdade de Medicina. III. Título.

NLM: QA 76.9.C65

Bibliotecário responsável: Fabian Rodrigo dos Santos CRB-6/2697



UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS
FACULDADE DE MEDICINA
PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS APLICADAS À CIRURGIA E À OFTALMOLOGIA

FOLHA DE APROVAÇÃO

VISÃO COMPUTACIONAL ORIENTANDO TÉCNICA MICROCIRÚRGICA EM SIMULADOR EX-VIVO

LUCAS VIANA QUITES

Dissertação de Mestrado defendida e aprovada, no dia trinta de outubro de dois mil e vinte, pela Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS APLICADAS À CIRURGIA E À OFTALMOLOGIA da Universidade Federal de Minas Gerais constituída pelos seguintes professores:

AUDREY BEATRIZ SANTOS ARAUJO
UNIFENAS

VIVIAN RESENDE
UFMG

MARCELO MAGALDI RIBEIRO DE OLIVEIRA - Orientador
UFMG

Belo Horizonte, 30 de outubro de 2020.



Documento assinado eletronicamente por Vivian Resende, Coordenador(a) de curso de pós-graduação, em 17/11/2020, às 15:18, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Marcelo Magaldi Ribeiro de Oliveira, Professor do Magistério Superior, em 22/11/2020, às 21:37, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



Documento assinado eletronicamente por Audrey Beatriz Santos Araujo, Usuário Externo, em 15/12/2020, às 16:47, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://sei.ufmg.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador 0342620 e o código CRC 6CE19128.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter me dado saúde e força para superar as dificuldades, por minha vida, família e amigos.

A esta universidade, seu corpo docente, direção e administração que oportunizaram a janela que hoje vislumbro um horizonte superior, eivado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

Ao professor Marcelo Magaldi Ribeiro de Oliveira, pela orientação, apoio e confiança.

Aos meus preceptores da residência pela paciência e compreensão no momento do ensino tão complexo que é a neurocirurgia.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender. A palavra mestre, nunca fará justiça aos professores dedicados aos quais sem nominar terão os meus eternos agradecimentos.

Agradeço a minha mãe Maria Auxiliadora Sabino Viana, heroína que me deu apoio, incentivo nas horas difíceis, de desânimo e cansaço.

Ao meu pai Lúcio de Oliveira Quites que apesar de todas as dificuldades que enfrentei, me fortaleceu, me apoiou e me guiou para encontrar o caminho para vitória.

À minha esposa Cynthia Casagrande Matos por ter sido compreensiva, amável e tolerante, mesmo nas horas que tive apenas raiva ou desespero. Por estar sempre ao meu lado mesmo nas dificuldades, adversidades e intempéries da vida. Por ter me dado o meu filho Klaus que só traz alegria para todos a sua volta.

Agradeço também a todos que, direta ou indiretamente, fizeram parte da minha formação, muito obrigado.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS

FACULDADE DE MEDICINA

Profa. Sandra Regina Goulart Almeida

Reitora

Prof. Alessandro Fernandes Moreira

Vice Reitor

Prof. Fabio Alves da Silva Junior

Pró Reitor de Pós Graduação

Prof. Mário Fernando Montenegro Campos

Pró Reitor de Pesquisa

Prof. Humberto José Alves

Diretor da Faculdade de Medicina

Prof. Tarcizo Afonso Nunes

Coordenador do Centro de Pós Graduação

Prof. Marco Antônio Gonçalves Rodrigues

Coordenador do Departamento de Cirurgia

Prof. Flávio Barbosa Nunes

Coordenador do Departamento de Oftalmologia e Otorrinolaringologia

Profa. Vivian Resende

Coordenadora do Programa de Pós Graduação em Ciências Aplicadas à Cirurgia e à Oftalmologia

Membros do Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Cirurgia e à

Oftalmologia

Prof.^a Vivian Resende (Coordenadora)

Prof. Túlio Pinho Navarro (Vice-coordenador)

Prof. Daniel Vitor de Vasconcelos Santos

Prof. Márcio Bittar Nehemy

Prof. Marco Antônio Percope de Andrade

Representante Discente: Artur William Caldeira Abreu Velos

Índice

1	Abstract	1
1.1	Background.....	1
1.2	Methods:	1
1.3	Results.....	1
1.4	Conclusion	2
2	Resumo.....	2
2.1	Introdução	2
2.2	Métodos	2
2.3	Resultado	3
2.4	Conclusão.....	3
3	Introdução	4
3.1	História.....	4
3.2	Aprendizado em Microcirurgia	4
3.3	Placenta Humana.....	5
3.4	Visão Computacional.....	5
3.5	Treinamento em técnica microcirúrgica.....	7
4	Objetivo	9
5	Materiais e Métodos	9
5.1.1	Construção do modelo de treinamento	10
5.2	Descrição do software utilizado	11
5.2.1	<i>PRoficiency Index in Microsurgery Education – Software e Índice</i>	11
5.3	Metodologia de validação	15
6	Resultados	16
7	Discussão.....	19
8	Conclusão	21
9	Texto Complementar.....	22
9.1	<i>Convolutional Networks e Deep Learning</i>	22
9.2	Perspectivas.....	26
10	Bibliografia	29

Tabelas

Tabela 1: Tabela com resultados de validação de face pela A escala de “cinco pontos de “Likert”	17
Tabela 2: Prova de conceito do <i>PRoficiency Index in Microsurgical Education</i> (PRIME) de cinco médicos durante a microsutura na placenta e a simulação de microsutura em três diferentes seções para cada participante.	18

Figuras

Figura 1: Demonstrando a metamorfose de duas pessoas distintas em uma terceira, situada entre as duas.	7
Figura 2: Fotografia demonstrando o sistema <i>Imperial College Surgical Assessment Device</i> (ICSAD). Notem na imagem à direita na região inferior os dois dispositivos eletromagnéticos que devem ser inseridos no pulso para realização das mensurações.....	8
Figura 3: Exemplos da detecção de movimento realizada pelo software em seu protótipo inicial. As setas mostram a direção do movimento, o ponto vermelho o centro de cada objeto detectado, a numeração no canto esquerdo e direito da imagem é o número de movimentos da mão esquerda e direita respectivamente e a numeração no centro da imagem equivale ao tempo.....	11
Figura 4: Figura demonstrando o programa PRIME em seu protótipo final, como foi usado para calcular os resultados.	14
Figura 5: Demonstrando a hierarquia dos sistemas de inteligência artificial.....	22
Figura 6: Imagem demonstrando as características manuais antes definidas pelos usuários.....	24
Figura 7: Figura demonstrando o processo automático da <i>convolutional network</i> de aquisição de características.	25
Figura 8: Exemplo de modelo de detecção de objetos utilizando <i>deep learning</i> e <i>convolutional networks</i>	26
Figura 9: Exemplo de um modelo de sistema de classificação de imagens com <i>deep learning</i> e <i>convolutional networks</i>	28

1 Abstract

1.1 Background

Mastering cerebrovascular microsurgical techniques requires intensive training, with hours spent into a laboratory. Ability learning and maintenance generally demand a supervisor to improve, and one is not always available, specially outside of an operating room setting. Using a software coach and a placenta could help a neurosurgeon in training to improve his abilities.

1.2 Methods:

Five volunteer medical doctors with different levels of microsurgical expertise performed vessel dissection and micro-suture simulation in an ex-vivo model. Procedures were video recorded with color labeled instruments for computer analyzes of time, number of right and left hand movements, suture symmetry, vessel stenosis and leakage. Proficiency index software was suggested, in a self-challenge and self-coaching manner.

1.3 Results

Proficiency index of microsurgical education (PRIME) pilot results were individually based in an intra-user analysis of performance. No statistical significance was found.

1.4 Conclusion

PRIME could offer the capability of constant automated laboratory microsurgical practice under guidance, opening a new window of oriented training without a human tutor in a practical and feasible manner. Prospective, large data study is needed to confirm this hypothesis.

Keywords: microsurgery, cerebrovascular surgery, computer vision, artificial intelligence, neurosurgical training, neurosurgical education, laboratory training

2 Resumo

2.1 Introdução

Tornar-se proficiente em técnicas microcirúrgicas necessitam de treinamento intensivo, com muitas horas gastas em laboratório. Aprendizado de novas habilidades microcirúrgicas, assim como sua manutenção demanda de constante prática supervisionada. Nem sempre é possível um a presença de um tutor para isso. A placenta juntamente com um software que avalie e mensure a proficiência do usuário se faz necessário para aprimoramento das habilidades cirúrgicas nesse contexto.

2.2 Métodos

Cinco médicos voluntários, com diferentes níveis de expertise neurocirúrgica, realizaram três vezes a dissecação e microsutura de um vaso em um modelo placentário ex-vivo. O procedimento foi gravado em vídeo e os instrumentos marcados com cores para análise de cinco características: número de movimentos, tempo, simetria da sutura, estenose

dos vasos e vazamento. A partir desses valores o índice de proficiência PRIME foi sugerido para guiar o cirurgião em seu aprendizado.

2.3 Resultado

Os resultados do piloto PRIME (*PRoficiency Index in Microsurgical Education*) foram baseados em uma análise intra-usuários. Não foi demonstrada diferença estatística entre os valores analisados.

2.4 Conclusão

O PRIME poderia ser um importante instrumento que iria oferecer a possibilidade de um treinamento microcirúrgico contínuo em laboratório, permitindo esse aprendizado fosse guiado e mensurado. Um estudo com um maior número de dados é necessário para verificar essa hipótese.

Palavras Chave: microcirurgia, cirurgia cerebrovascular, visão computacional, inteligência artificial, treinamento neurocirúrgico, educação neurocirúrgica, educação em neurocirurgia, treinamento em laboratório

3 Introdução

3.1 História

Carl-Olof Siggesson Nylén, foi o pai da microcirurgia, construindo seu microscópio cirúrgico do tipo Brinell-Leitz modificado em 1921. Realizou sua primeira microcirurgia em novembro do mesmo ano em um paciente com otite crônica que possuía uma fistula labiríntica.

Na neurocirurgia seu uso começou no final da década de 50, com William House explorando novas técnicas para cirurgia no osso temporal. O primeiro uso documentado do microscópio cirúrgico na neurocirurgia foi realizado por Theodore Kurze em 1957. Nos anos 60 outros neurocirurgiões, principalmente Raymond M. P. Donaghy e Mahmut Gazi Yaşargil ativamente estabeleceram o campo da microneurocirurgia(OTTENHAUSEN et al., 2014).

3.2 Aprendizado em Microcirurgia

Apesar do início tardio na neurocirurgia, não se admite hoje a neurocirurgia sem o uso rotineiro do microscópio cirúrgico. O residente de neurocirurgia deve ser treinado para seu uso adequado e o neurocirurgião deve utilizá-lo como uma extensão de sua prática.

O treinamento do residente em neurocirurgia ainda é feito como proposto por Halsted no século 19 – “See one, do one, teach one”(KOTSIS; CHUNG, 2013). A progressão microcirúrgica, portanto, fica restrita a uma forma artesanal de aprendizado, com toda sua dificuldade e riscos envolvidos, principalmente pelo fato que o campo microcirúrgico permite que apenas um cirurgião o manipule. Apesar do uso do laboratório ser preconizado e enfatizado fora do Brasil, seu uso não é viável em nosso meio devido à indisponibilidade do mesmo na maioria dos centros.

O cadáver sempre será utilizado em qualquer lugar para prática médica. Apesar de possuir algo que nenhum modelo possui, que é a fidelidade anatômica, possui problemas como falta de uma sensação manual adequada após fixação ou baixa disponibilidade na maioria dos centros neurocirúrgicos. Dessa forma faz-se necessário um modelo adequado para treinamento em laboratório, que se assemelhe à cirurgia *in vivo*. Foram então desenvolvidas e validadas diversas técnicas para simulação microcirúrgica através do uso da placenta humana(MAGALDI et al., 2014) .

3.3 Placenta Humana

Com o propósito de melhorar o aprendizado no laboratório para residentes e neurocirurgiões, foram criados diversos modelos. Apesar da placenta humana já ter sido utilizada para esse fim previamente, apenas recentemente ela foi descrita e validada para simulação de procedimentos microcirúrgicos(DE OLIVEIRA et al., 2016; MAGALDI et al., 2014; OLIVEIRA et al., 2016).

A criação de modelos de simulação cirúrgica vem ganhando importante espaço na comunidade científica devido à mudança na filosofia pedagógica do ensino médico. É possível, com o uso desse modelo, realizar o treinamento do residente em um ambiente controlado e seguro.

3.4 Visão Computacional

Visão computacional é a área da ciência da computação com dois objetivos. Sob a óptica das ciências biológicas a visão computacional almeja criar um modelo computacional do sistema visual humano. Sob a óptica da engenharia a visão computacional tem o objetivo

de construir sistemas autônomos que conseguem executar algumas tarefas que o sistema visual humano é capaz de executar (ou até suplantá-lo em vários casos)(HUANG, 1996).

São utilizados softwares de visão computacional para diversos fins práticos, muitas vezes imperceptíveis às pessoas, apesar de fazerem parte do cotidiano. Podemos incluir como exemplos:

- União de Imagens: União de fotos seqüenciais de uma mesma cena em uma foto panorâmica da cena.
- União de Exposições: Fotos da mesma imagem tiradas repetidamente em condições de iluminação ruim (luz solar intensa ou sombras) são unidas em uma única imagem com exposição perfeita.
- Metamorfose: Transformar uma foto de uma pessoa em outra, usando uma transição contínua. Um exemplo de metamorfose é mostrado na Figura 1.
- Modelagem 3D: converter uma ou mais fotos em um modelo 3D de um objeto ou pessoa sendo fotografado.
- Estabilização de vídeo: Usar estimativas de posicionamento de movimento para reduzir o tremor do vídeo.
- Detecção de Faces: Interpretação do que constitui uma face de uma pessoa em uma câmera. É usada para foco das lentes e para marcação dos indivíduos presentes na foto, com uma caixa delimitando suas faces.
- Autenticação visual: Automaticamente realizar o *login* em um sistema de computador ou celular utilizando a face de uma pessoa em uma câmera(SZELISKI, 2011).

Fonte: Wikipedia, artigo “Morphing”



Figura 1: Demonstrando a metamorfose de duas pessoas distintas em uma terceira, situada entre as duas.

3.5 Treinamento em técnica microcirúrgica

O treinamento e aprendizado de técnicas cirúrgicas estão evoluindo para o largo uso de simuladores antes de se realizar procedimentos operatórios em pacientes (GHANEM et al., 2013; MING LEUNG et al., 2013). Justifica-se a existência de laboratórios e centros de treinamento onde os residentes e especialistas possam praticar os diversos procedimentos cirúrgicos.

A microcirurgia é um ato cirúrgico que requer habilidade e treinamento específico. Existem poucos simuladores disponíveis para este tipo de prática que não utilizem animais vivos. O uso de ratos, cães, gatos, porcos, ou outros animais, tem sido objeto de crítica ética, sendo previsto a proibição do uso de qualquer animal vivo em simulação cirúrgica para um futuro próximo. O uso de animais vivos para a prática cirúrgica nas universidades dos Estados Unidos e Canadá, já não ocorre desde 2016 (POLLARD, 2016).

Existe também na literatura médica simuladores que utilizam computação gráfica, para treinamento de técnica cirúrgica, e também realidade virtual para treinamento das habilidades cirúrgicas (AGHA; FOWLER, 2015; MOORTHY et al., 2004). Infelizmente esses dispositivos não são acessíveis, devido ao preço elevado para sua aquisição e das dificuldades

de importação. Além disso, a realidade virtual não permite sensação tátil adequada de manipulação de tecido ficando a quem da prática no tecido vivo.

Na primeira década do século 21, alguns trabalhos foram publicados utilizando o sistema *Robotic Video and Motion Analysis Software* (ROVIMAS) e o sistema *Imperial College Surgical Assessment Device* (ICSAD) (DOSIS et al., 2004, 2005; MOORTHY et al., 2003). A Figura 2 mostra uma foto do sistema utilizado pelo ICSAD. A grande limitação desse sistema é a utilização de um computador próprio, associado a sensores magnéticos que devem ficar no pulso do cirurgião quando o mesmo está realizando o procedimento. Além disso, foi um sistema criado para mensuração de cirurgia macroscópica, deixando muito a desejar em relação aos movimentos delicados e finos realizados muitas vezes com a ponta dos dedos, realizados na microcirurgia. (DOSIS et al., 2004, 2005)

Fonte: Artigos (DOSIS et al., 2004; MOORTHY et al., 2003)

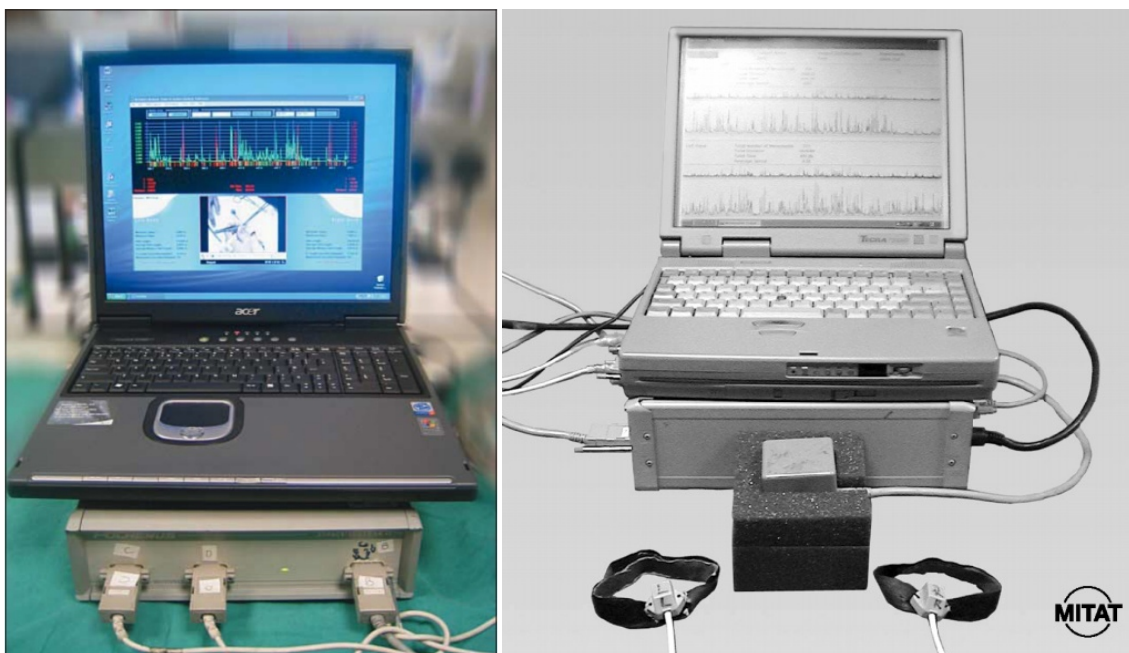


Figura 2: Fotografia demonstrando o sistema *Imperial College Surgical Assessment Device* (ICSAD). Notem na imagem à direita na região inferior os dois dispositivos eletromagnéticos que devem ser inseridos no pulso para realização das mensurações

A placenta aparece como alternativa para um modelo de simulação. É um meio barato e disponível e já validado, necessitando de técnicas objetivas de avaliação de progressão de

aprendizado. Da mesma forma que os simuladores já quantificam de forma objetiva a progressão do aprendizado do cirurgião, sugere-se que a visão computacional será uma ferramenta muito útil para quantificar a progressão do cirurgião com o uso da placenta.

Não existe, portanto, até hoje nenhum método automatizado com critérios objetivos, quantificáveis e reproduzíveis e barato, para medida de habilidade microcirúrgica e sua progressão, sendo essa a relevância desse trabalho.

4 Objetivo

Descrever e validar, utilizando medidas objetivas e com o auxílio de visão computacional um método automatizado para mensuração e treinamento de habilidades de neurocirurgiões e residentes de neurocirurgia em microcirurgia, usando placenta humana.

5 Materiais e Métodos

As placentas foram fornecidas por meio de convênio de pesquisa pelos Departamentos de Obstetrícia e Anatomopatologia da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais. As grávidas ao se submeterem a procedimentos obstétricos no Hospital das Clínicas da Universidade Federal de Minas Gerais preencheram previamente o consentimento informado autorizando o uso da placenta para ensino médico, devendo esta retornar integralmente ao necrotério da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Minas Gerais após cinco dias de uso. É estritamente proibida a retirada parcial ou total da placenta humana para outros fins. As placentas de pacientes que diagnosticadas com alguma doença infecto contagiosa durante, ou antes, do pré-natal, não foram incluídas no estudo.

Os instrumentos utilizados para os testes foram duas pinças para microcirurgia, já disponíveis no laboratório de microcirurgia, associado a marcadores coloridos, sendo as cores

verde e amarelo escolhidas para marcar cada um dos instrumentos. Essas cores foram escolhidas, pois elas não possuem qualquer semelhança a cor da placenta, nem ao sangue artificial utilizado, que iria comprometer a técnica do software para detecção dos instrumentos.

5.1.1 Construção do modelo de treinamento

Placentas humanas foram utilizadas, tendo sido previamente lavadas externamente. Em sua rede vascular é infundido soro fisiológico 0.9% através do uso de sonda vesical 6F, cateterizando-se as duas artérias e a veia umbilical para completa remoção de coágulos. O cordão umbilical foi seccionado a uma distância de aproximadamente oito cm do estroma da placenta, conforme descrito na literatura(MAGALDI et al., 2014). O vaso alvo para o procedimento é a veia placentária humana com suas bifurcações. A dissecação ao redor do tecido placentário alvo, incluindo as bifurcações dos vasos, foi realizada a um centímetro de profundidade de corte para dentro do estroma, a fim de dobrar o tecido vascular. A artéria e veia principais foram demarcadas com infusão contínua no interior dos vasos, de corantes vermelho e azul (água e pó corante - *Gouache color, Nanchang Lan Po Pen & Painting Material Co., China*, nas cores vermelho e azul)(MAGALDI et al., 2014). Devido à árvore vascular da placenta ter apenas uma direção de fluxo, há saída de líquido infundido pelo estroma da placenta. Este foi recolhido por um sistema de sucção. A artéria selecionada foi submetida uma pressão de pulso de 70mmHg em média, realizada por bomba de infusão com abertura intermitente. Esta simulação permite a diferenciação entre veias e artérias, como em situação de cirurgia real. Diversos vasos no modelo de simulação foram preparadas para dissecação microcirúrgica, utilizando o microscópio cirúrgico OPMI PICO (*Zeiss, Germany*). Material para dissecação microcirúrgica foi fornecido pelo laboratório de microcirurgia da Faculdade de Medicina da UFMG.

5.2 Descrição do software utilizado

Foi criado pelo autor da dissertação o software denominado PRIME (*PRoficiency Index in Microsurgery Education*). Seu objetivo é mensurar o número de movimentos realizados pelo cirurgião, assim como o tempo necessário para realização das tarefas. Além disso, o software possui funções auxiliares que facilitam ao usuário a mensuração de simetria das suturas, estenose dos vasos e visualização de extravasamento de corante do vaso, ao final do procedimento.

5.2.1 *PRoficiency Index in Microsurgery Education* – Software e Índice

Fonte: Software PRIME, primeiro protótipo.

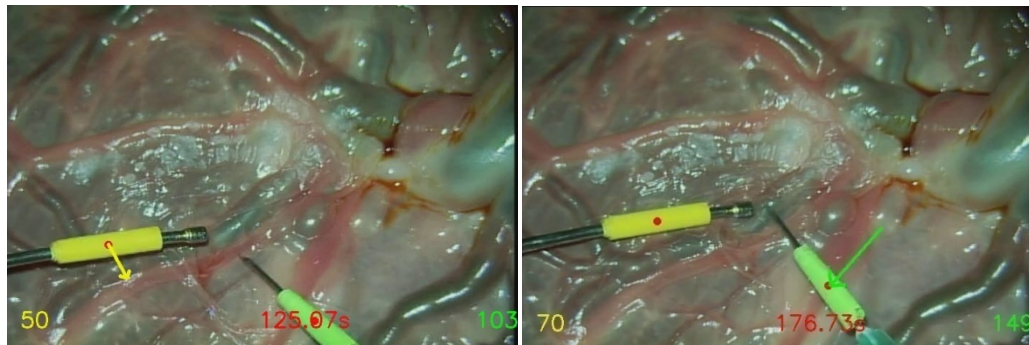


Figura 3: Exemplos da detecção de movimento realizada pelo software em seu protótipo inicial. As setas mostram a direção do movimento, o ponto vermelho o centro de cada objeto detectado, a numeração no canto esquerdo e direito da imagem é o número de movimentos da mão esquerda e direita respectivamente e a numeração no centro da imagem equivale ao tempo.

O software foi codificado em C++ e compilado em Linux, distribuição Debian, com compilador g++ em diferentes versões, atualizadas à medida que a criação do projeto do PRIME foi sendo executada. Durante a criação desse trabalho o software foi modificado de modo a se adequar melhor ao projeto e para correção de diversos erros de software que foram encontrados. O software em questão é composto de duas partes a serem descritas. A primeira parte diz respeito ao *tracking* (localização e rastreamento) do objeto, enquanto a segunda

curso sobre a detecção de movimentos *per se*. O funcionamento do software pode ser demonstrado pela Figura 3 e Figura 4.

Para realização do *tracking* do objeto foi utilizando a biblioteca OpenCV, com a qual foi possível a criação de um sistema de detecção de cores que usamos para separarmos qual mão está sendo utilizada para cada finalidade. A cor foi detectada a partir de uma transformação de espaço de cores de RGB (Red Green Blue) para HSV (*hue, saturation, value*). Esse espaço foi utilizado por ter menos variação de cores mudando-se a iluminação do campo cirúrgico. A partir daí foi calibrado o software para cada situação utilizando os valores adequados de HSV de cada instrumento separadamente. A partir dos valores escolhidos para calibração de cada mão, o software separou cada mão, realizou o *tracking* separadamente e armazenou esses dados para serem transferidos para a segunda parte do algoritmo.

Em seguida foi feito a detecção de movimentos. Primeiramente existe um parâmetro inicial do software de movimento mínimo para ser considerado um movimento válido. Foi utilizado o valor de 60 pixels para um vídeo *full HD* e proporcional em termo de volume de pixels para cada vídeo menor. Por exemplo, se for utilizado um vídeo *HD*, de 720p, esse vídeo possui 1280x720 pixels = 921600 pixels. O vídeo *full HD* possui 1920x1080 = 2073600. O valor proporcional é calculado então $(921600 / 2073600) \times 60$ pixels = 26.6 sendo, portanto, o valor de 26 utilizado. Esse valor equivale, quando utilizado o menor aumento do microscópio PICO a aproximadamente dois mm. O *software* então definiu como movimento a alteração da posição em um determinado sentido de no mínimo dois mm. Definimos como unidade de tempo $\frac{1}{4}$ de segundo, ou seja, 250 milissegundos. Em caso de mudança de sentido após a unidade de tempo, foi considerado fim de um movimento e início do próximo. Caso após uma unidade de tempo o usuário não tenha andado mais que o mínimo definido previamente, foi considerado o fim do movimento. O valor a ser analisado em cada unidade

de tempo foi o comprimento do segmento de reta que liga a posição de uma determinada mão e a posição da mesma mão na unidade de tempo anterior.

Finalmente a partir de cada movimento detectado, o vídeo foi novamente analisado e cada movimento foi demonstrado no vídeo como um vetor, com a cor que corresponde à cor que o usuário usou em cada mão e o sentido da direção do movimento.

O índice PRIME foi constituído por cinco componentes: numero de movimentos, tempo, estenose, simetria e vazamento. O escore varia de 0.0 a 1.0, e cada um dos componentes equivale a um peso previamente definido. Os pesos foram definidos segundo quais critérios os autores acreditavam que seriam mais importantes para um cirurgião cerebrovascular.

O tempo diz respeito à duração necessária para execução da tarefa pelo cirurgião. Esse valor seria utilizado em uma curva gaussiana com os valores de tempo gastos por um determinado subgrupo de cirurgiões em um determinado nível de habilidade. No caso os níveis de habilidade definidos foram residente iniciante, residente sênior e cirurgião cerebrovascular. Caso o valor do tempo gasto pelo cirurgião se situar menor ou igual à mediana mais um desvio padrão, ele ganhará 10%. O tempo juntamente com o número de movimentos permite inferir a precisão do cirurgião.

O número de movimentos equivale ao valor de movimentos calculado pelo software que o usuário necessitou para realização da tarefa. Da mesma forma que o tempo esse valor seria colocado em uma curva normal para o grupo correspondente do cirurgião. Caso o valor seja menor ou igual à mediana mais um desvio padrão, ele ganhará 40%. Ele refere à objetividade do cirurgião em relação a movimentos precisos.

A simetria foi uma análise do quão simétrico estão os pontos da sutura entre si. Caso eles estejam menos que 25% simétricos, o cirurgião não ganhará nada. Caso possuam entre si simetria em 25% a 50% dos pontos, o cirurgião ganhará 10%. Caso mais que 50% dos pontos

estejam simétricos entre si, o cirurgião ganhará 20%. Infere a qualidade dos movimentos automatizados com a mão.

A estenose do vaso foi uma análise da redução do lúmen do vaso após a realização da sutura. Caso a sutura tenha reduzido o lúmen em até 25%, o cirurgião ganhará 20%. Caso a sutura tenha reduzido o lúmen entre 25 e 50% do vaso, o cirurgião ganhará 10%. Caso o lúmen tenha sido reduzido em mais de 50% de seu calibre, o cirurgião não ganhará nada. Juntamente com os outros parâmetros refere à qualidade do procedimento.

O vazamento equivale à quantidade de “sangue” que extravasou do vaso depois de retirados os cliques e aplicado a pressão vascular. Caso o vazamento seja de grande monta, o cirurgião não será contemplado com nenhum valor para o escore. Tal vazamento em uma cirurgia real seria catastrófico além de demonstrar imprecisão microcirúrgica. Caso o vazamento seja moderado ou leve, o cirurgião ganhará 10%. É importante notar que existe algum grau de vazamento durante uma cirurgia real, e tal sangramento é controlado pelo sistema de coagulação do paciente e hemostáticos. No caso da placenta não existe nenhum dos dois, sendo tolerável até um vazamento moderado. Finalmente os valores seriam somados para calcular um escore de 0.0 a 1.0.

Fonte: Software PRIME em sua versão final.

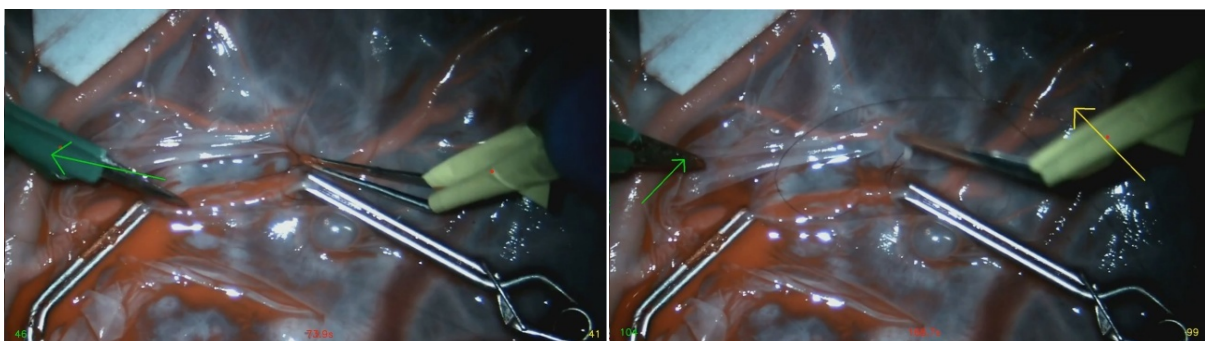


Figura 4: Figura demonstrando o programa PRIME em seu protótipo final, como foi usado para calcular os resultados.

5.3 Metodologia de validação

Foi utilizado um número de cinco médicos para trabalharem na prova de conceito, sendo eles um neurocirurgião cerebrovascular especialista, dois residentes seniores e dois residentes iniciantes, todos da neurocirurgia. Os residentes iniciantes foram R2 e os seniores um R4 e um R5. A validação de face e conteúdo foi feita respondendo a perguntas sobre a semelhança do modelo de simulação na placenta humana com a o procedimento de tratamento microcirúrgico.

A escala de “cinco pontos de *Likert*” (1 – pouca semelhança “*little similarity*”, 2- alguma semelhança “*some similarity*”, 3 – semelhante “*similar*”, 4 – muito semelhante “*very similar*”, 5- exatamente igual “*exactly like*”) foi usada para responder a cada pergunta. O cirurgião e os residentes seniores basearam suas respostas depois de trabalhar no modelo e compararam com suas cirurgias reais realizadas. Os residentes novatos convidados responderam as perguntas depois de assistir a um vídeo de dissecação vascular microcirúrgica, e terem realizado a cirurgia na placenta.

Cada médico foi convidado a realizar uma microsutura em um vaso de cerca de três mm de diâmetro, com sutura contínua de cerca de um cm de comprimento, utilizando duas pinças para microcirurgia e uma tesoura para microcirurgia. O vídeo termina no momento que o fio do ponto da extremidade final for cortado. Cada médico realizou a mesma tarefa três vezes separadamente, com o intervalo de alguns minutos entre cada tentativa, com o objetivo de verificar a progressão do cirurgião após a repetição do procedimento na placenta. Os vídeos gravados foram avaliados pelo software de visão computacional e o tempo e o número de movimentos para realizar cada tarefa foram registrados. Depois foram avaliados o grau de estenose, a simetria dos pontos e finalmente o vazamento. Os valores foram submetidos a análise estatística, realizada por meio do teste Mann Whitney U. Foram comparados cada item do PRIME realizados em cada uma das 3 execuções do procedimento para avaliar se tiveram

diferença estatisticamente significativa entre si, utilizando o software SPSS versão 17, com intervalo de confiança de 95%.

6 Resultados

Os cinco participantes terminaram todas as três tarefas, usadas para medir a proficiência neurocirúrgica, resultando em três diferentes escores para cada participante. Melhoras ocorreram no tempo e número de movimentos para um residente sênior e o cirurgião cerebrovascular, mas sem significância estatística.

A escala de Likert para todos os participantes demonstrou valores que variaram de três a cinco, sendo que a maioria dos participantes marcou quatro, correspondendo a “muito semelhante”, demonstrado na **Erro! Fonte de referência não encontrada.**

A Tabela 2 mostra o resultado da execução da tarefa, três vezes por cada cirurgião, em cada um dos componentes do índice de proficiência PRIME. Esse índice, quando compilado a partir de seus componentes, pode variar de 0.0 a 1.0, com 1.0 significando 100% de proficiência. As cores dos marcadores, verde e amarelo, foram reconhecidas pelo software PRIME, diferenciando os instrumentos cirúrgicos do campo cirúrgico em todos os 15 vídeos analisados. Outras cores foram tentadas, mas o verde e amarelo se mostraram menos propensos a erro, no momento do reconhecimento das cores dos instrumentos, por não se assemelharem ao sangue utilizado ou a cor do estroma da placenta.

O cronômetro mostrou o tempo, o número de movimentos de cada mão foi demonstrado seguindo o parâmetro pré determinado no início do software, que equivale a cerca de dois mm. A simetria da microsutura e o grau de estenose foram possíveis utilizando uma foto do final do vídeo, que após a superposição de um sistema milimetrado, foi possível medir o diâmetro do vaso e a distância das microsuturas. Mensuração de vazamento foi possível através da visualização direta de uma foto gerada ao final do vídeo.

Comparando o desempenho das três seções, nenhum dos residentes iniciantes foi capaz de melhorar seu escore com significância estatística, mas foi possível melhora no tempo e no número de movimentos de uma forma geral. As suturas foram completamente assimétricas e os vasos tiveram algum grau de estenose. O cirurgião cerebrovascular foi capaz de melhorar o número de movimentos e o tempo e estenose, mas foi inconsistente com o grau de simetria. Isso demonstra o grau de desafio da simulação de microsutura na placenta e como o software PRIME pode ser útil para diversos graus de expertise.

O índice teórico de proficiência variou de 0.1 a 0.9. O valor final do escore PRIME não foi mostrado na tabela, pois seria necessário uma quantidade de dados maior para que isso fosse possível.

Tabela 1: Tabela com resultados de validação de face pela A escala de “cinco pontos de “Likert”

Participante	Valor na escala de Likert
Residente Iniciante	3
Residente Iniciante	4
Residente Sênior	5
Residente Sênior	4
Neurocirurgião Cerebrovascular	4

Tabela 2: Prova de conceito do *PRoficiency Index in Microsurgical Education* (PRIME) de cinco médicos durante a microsutura na placenta e a simulação de microsutura em três diferentes seções para cada participante.

Parâmetros do PRIME % é o peso no índice final	Residente iniciante Valores em cada uma das três seções	Residente iniciante Valores em cada uma das três seções	Residente Sênior Valores em cada uma das três seções	Residente Sênior Valores em cada uma das três seções	Cirurgião cerebrovascular Valores em cada uma das três seções
Tempo (minutos) (10%)	27:45	24:11	13:48	15:55	9:52
	28:50	26:24	12:55	17:04	9:01
	26:21	24:48	12:09	16:43	8:15
Número de movimentos com as mãos (40%)	T – 2209	T - 1987	T – 658	T – 705	T - 419
T – Total somando mão direita e esquerda	T – 2023	T – 1851	T – 604	T – 623	T – 407
	T – 2103	T - 1904	T - 591	T - 611	T - 409
Simetria da sutura (total 20%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
> 50% simétrico (20%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
<50% e >25% (10%)					
Menor que 25% (0%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
Estenose vascular (total 20%)	0.0	0.0	0.1	0.1	0.1
< 25% (20%)	0.0	0.0	0.1	0.1	0.2
>25% e <50% (10%)					
Mais que 50% (0%)	0.0	0.0	0.1	0.2	0.2
Vazamento (10%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Se muito grande (0%)	0.0	0.1	0.1	0.0	0.1
Leve a Moderado (10%)	0.1	0.0	0.1	0.1	0.1

PRIME – O índice PRIME varia de 0.0 a 1.0 (máximo). Não foi demonstrado na tabela os valores do escore, pois não foram determinados os valores da mediana e desvio padrão para cada grupo.

7 Discussão

O treinamento em laboratório é de suma importância para o crescimento em habilidades microcirúrgicas(KIM et al., 2017). Dessa forma ter um tutor automatizado para guiar o aprendizado e crescimento de habilidades microcirúrgicas é extremamente interessante. É possível inferir que essa abordagem poderia se tornar em pouco tempo um novo paradigma de ensino neurocirúrgico. Isso pode ser realizado com o software PRIME e os vídeos gravados pelo pesquisador.

Os dados do estudo, até o momento, são muito pequenos e permitem apenas a realização de uma prova de conceito. Uma aplicabilidade real do PRIME deveria ser feita com um estudo multicêntrico, com uma grande quantidade de dados, usando o computador para estratificar o nível de proficiência de diversos participantes, sem a interferência humana.

Uma melhora no índice PRIME poderia ser um alvo de um aprendiz em microcirurgia ou um objetivo de um cirurgião experiente. Como em diversas habilidades médicas, o conhecimento deve primeiro ser adquirido para em seguida ser provado e mantido. Apesar disso conhecimento teórico não significa habilidades práticas(SADIDEEN; KNEEBONE, 2012), principalmente em um campo com alta demanda de destreza como o da microcirurgia vascular.

Não existe, até o nosso conhecimento, nenhuma sociedade que constantemente avalia a proficiência microcirúrgica de um cirurgião. Dessa forma o índice de proficiência seria a soma de todos esses parâmetros, que iriam se sumarizar a expertise prática microcirúrgica. Estabelecer esse valor irá depender da análise estatística de cada componente durante a execução de uma tarefa definida. Os cinco parâmetros descritos devem ter graus diferentes de importância e encontrar os pesos ideais deve ser um objetivo futuro.

Apesar de esse trabalho ser uma prova de conceito, sua grande vantagem é a reprodutibilidade e pragmatismo, já que ele pode ser aplicado a qualquer situação em que possamos utilizar marcadores coloridos em instrumentos cirúrgicos e detectar os movimentos independentemente.

Coaching é um conceito tradicional muito aplicado a atividades físicas e esportes(NICHOL et al., 2019). Em cirurgia os princípios de Halsted de aprendizado observando um mentor permaneceram por décadas. Apesar dos mentores serem considerados pessoas com um conhecimento e habilidade avançados e serem profissionais muito experientes, os seres humanos não conseguem analisar os mesmos detalhes que uma máquina é capaz. O tempo e dano tecidual, por exemplo, são parâmetros que podem ser facilmente mensurados e avaliados pelos tutores, mas medidas precisas de número de movimentos são parâmetros quase impossíveis para um ser humano apurar. Se o índice PRIME demonstrar ser uma medida de proficiência confiável ele será um importante instrumento educacional para aprimorar os neurocirurgiões com um treinador virtual, de forma constante.

A placenta já foi validada como um instrumento de simulação microcirúrgica cerebrovascular(MAGALDI et al., 2014). Ela oferece a oportunidade de utilização do PRIME em laboratório, em um modelo biológico, permitindo inferir a performance de um cirurgião em uma cirurgia real, potencialmente melhorando a qualidade e a segurança do paciente. Talvez seja possível no futuro utilizar o PRIME em tempo real, durante uma cirurgia real, de forma que ele meça a performance constantemente. Se um valor adequado de um índice prime não for alcançado, o cirurgião poderia ser orientado a aumentar sua concentração ou até suspender o procedimento completamente, devido à segurança do paciente.

Como esse trabalho é uma prova de conceito, diversas limitações podem ser descritas como um pequeno número de participantes, a falta de consistência intra ou inter usuários ou um pequeno número de dados para que o índice fique conclusivo. Apesar disso devido à

originalidade do trabalho acreditamos que os resultados possam ser publicados, ficando este estudo como piloto e justificando um estudo maior posterior com um número de dados que permita concluir a eficiência do índice como medida de proficiência microcirúrgica.

Finalmente ainda o escore PRIME ainda não foi validado como um marcador para diferenciação de proficiência cirúrgica. É necessária uma quantidade de dados muito maior para que seja possível chegar a essa conclusão. A utilização de detecção de objeto por inteligência artificial, mais especificamente *deep learning*, iria facilitar a criação vídeos cirúrgicos pela simplificação da detecção de objetos, permitindo, portanto a validação do PRIME como um escore de proficiência. O objetivo de longo prazo do PRIME é se tornar o nível de proficiência alcançada pelo cirurgião principal imediatamente após um procedimento cirúrgico, levando a uma auto-avaliação e busca de auto-aprimoramento.

8 Conclusão

O software PRIME, juntamente com a placenta humana, demonstram um conceito de treinamento microcirúrgico contínuo em laboratório, com medidas objetivas de progressão de habilidade, assim como a possibilidade de comparação com outras neurocirurgias de diferentes níveis de expertise. Esse treinamento automatizado e sem um tutor humano é uma mudança de paradigma e provável futuro do aprendizado neurocirúrgico. É necessário um estudo com volume de dados maior para confirmar essa hipótese.

9 Texto Complementar

9.1 *Convolutional Networks e Deep Learning*

Um dos ramos da inteligência artificial é o aprendizado de máquina, dentro do qual existem as redes neurais, e dentro das redes neurais existe o *deep learning*, como demonstrado pela Figura 5. O objetivo principal da inteligência artificial é fornecer algoritmos para execução de tarefas intuitivamente e quase automaticamente. Interpretar o conteúdo de uma imagem, que é uma tarefa muito simples para um ser humano, é uma tarefa extremamente complexa para um computador(ROSENBROCK, 2019).

Fonte: Livro de (ROSENBROCK, 2019)

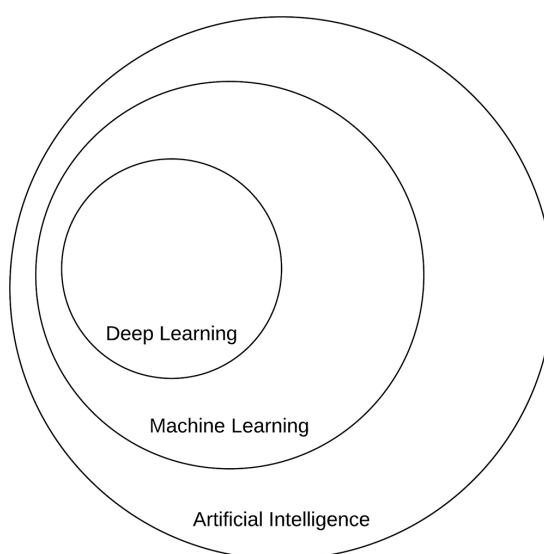


Figura 5: Demonstrando a hierarquia dos sistemas de inteligência artificial.

Redes neurais artificiais é um campo do aprendizado de máquina que aprende com os dados e especializa em reconhecimento de padrões, inspirado na estrutura do sistema nervoso. O *deep learning* pertence à família dos algoritmos das redes neurais artificiais. Apesar desse campo já existir há mais de 60 anos apenas com o hardware dos computadores modernos foi possível o desenvolvimento desse campo.

O aprendizado de máquina pode ser classificado como incluso em um de três grupos, o aprendizado supervisionado, o não supervisionado e o semi-supervisionado. No supervisionado basicamente é ensinado item por item para o sistema qual é o valor correto de cada padrão. Por exemplo, para categorizar imagens dentre carro, moto e avião são inseridos fotos de aviões, carros e motos, com suas respectivas categorias corretas e, após ser inserida uma nova imagem de uma das categorias descritas ele será capaz de categorizá-la corretamente. Para que isso seja possível, milhares de imagens de cada categoria devem ser inseridas no sistema, assim como seu identificador correto. No aprendizado não supervisionado o sistema tenta buscar sozinho características que separam as imagens uma das outras e o semi supervisionado fica num espectro entre um dos dois. O sistema mais pesquisado e desenvolvido na atualidade é o sistema supervisionado.

Nos primeiros sistemas de classificação, características específicas da imagem eram definidas manualmente pelo programador. Essas características eram diversos parâmetros que o programador acreditava ser importante para classificação de uma imagem, como textura, cor, formato ou qualquer outra específica a cada caso. O algoritmo, logo em seguida, iria tentar separar de cada uma das imagens fornecidas essas características escolhidas, de forma a definir uma classe de imagem ou outra (ex. carro VS moto), como demonstrado pela Figura 6.

Fonte: Livro de (ROSENBROCK, 2019)

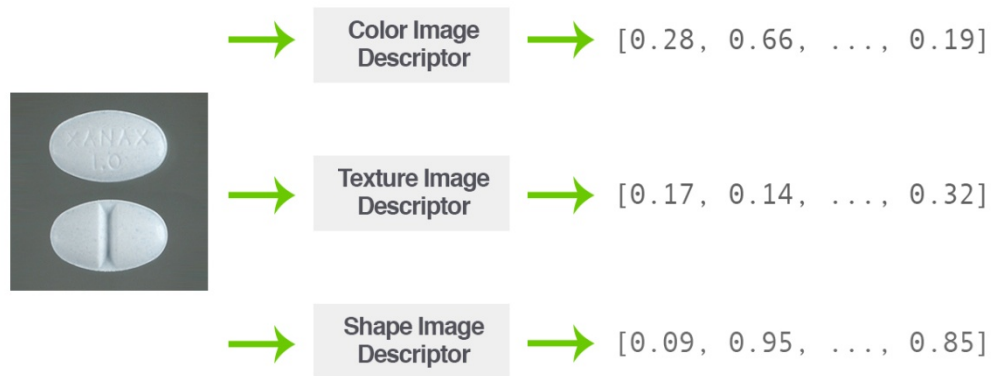


Figura 6: Imagem demonstrando as características manuais antes definidas pelos usuários.

O *deep learning* e mais especificamente as *convolutional networks* usam uma abordagem diferente. Ao invés dessas características definidas a mão, que o sistema tenta extrair de cada imagem e que podem não ser as melhores opções, o sistema busca e aprende essas características automaticamente, durante o processo de treinamento do modelo (ROSENBROCK, 2019). A Figura 7 demonstra uma imagem, no caso um carro, e cada uma das características sendo escolhidas e separadas pelo algoritmo, de forma hierárquica, e ficando cada vez mais complexa quanto mais profundo está a análise, nas camadas da rede neural.

Fonte: Artigo (ZEILER; FERGUS, 2014)

Convolutional Neural Network

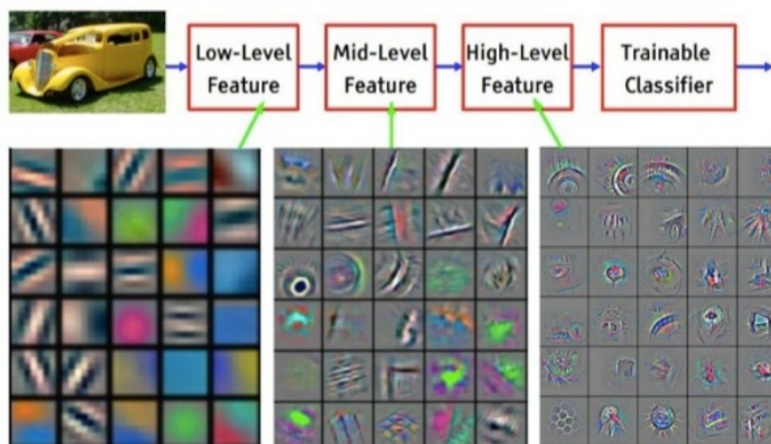


Figura 7: Figura demonstrando o processo automático da *convolutional network* de aquisição de características.

Usando *deep learning* o problema é percebido em termos de uma hierarquia de conceitos. Cada conceito é construído em cima dos outros. Conceitos escolhidos de uma camada inicial da rede se relacionam a estrutura básica do problema (pixels para a imagem/vídeo) enquanto as camadas mais avançadas usam os conceitos determinados nessas camadas básicas para formar conceitos mais complexos e abstratos. Por exemplo, em uma imagem inserida em uma *convolutional network* é fornecido inicialmente os valores dos pixels. Uma série de camadas a seguir tenta extrair características da imagem utilizando esses pixels. Essas camadas constroem uma sobre as outras em um conceito hierárquico. As quinas são detectadas inicialmente nos níveis iniciais, seguido por cantos onde essas quinas devem ser encontradas nas camadas seguintes, seguido por contornos de um determinado objeto, determinados nas camadas finais. Combinando contornos e quinas é possível abstrair partes importantes e marcantes de um objeto em uma camada seguinte. Finalmente na última camada toda essa informação é utilizada para classificar um determinado objeto. É um processo hierárquico de aprendizado, em que cada camada constrói as idéias que serão utilizados na construção do conceito do próximo nível.

Finalmente, a título de definição, uma rede pode ser classificada como *deep* (profunda) quando tem mais de duas camadas e *very deep* (muito profunda) quando tem mais de 10 camadas (ROSENBROCK, 2019).

As redes neurais utilizando as *convolutional networks* não apenas são usadas para classificação de objetos. Outro uso muito comum é para localização de objetos e rastreamento de objetos. Aplicativos de celulares utilizam redes neurais para detectar a face de pessoas em fotos ou vídeos, assim como detectar quando se está sorrindo para realizar a fotografia.

9.2 Perspectivas

O *deep learning* e as *convolutional networks* também podem ser usadas para detecção de objetos e rastreamento de objetos. Portanto uma possibilidade para projeto futuro seria criar um modelo de uma rede neural para detecção de objetos e treiná-lo para instrumentos cirúrgicos. A Figura 8 demonstra a detecção de três objetos distintos em três imagens.

Fonte: Livro de (ROSENBROCK, 2019)

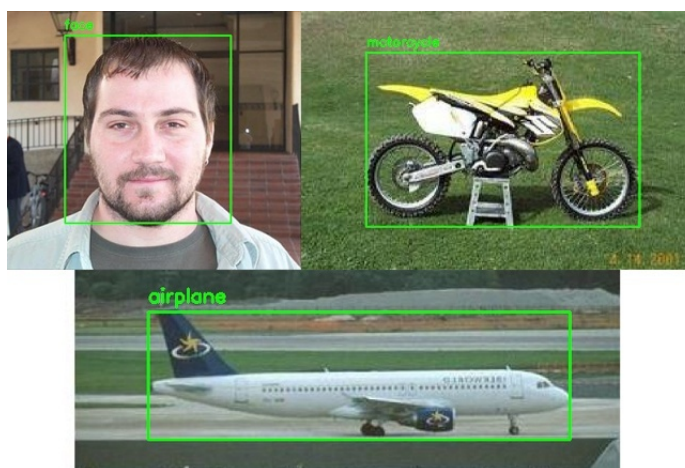


Figura 8: Exemplo de modelo de detecção de objetos utilizando *deep learning* e *convolutional networks*.

A vantagem dessa abordagem é que o modelo reconheceria instrumentos cirúrgicos automaticamente, não necessitando mais dos marcadores utilizados (REDMON et al., 2016; REN et al., 2017). Essa abordagem permitiria vídeos de cirurgias completos com qualquer

instrumento cirúrgico que fosse ensinado para o modelo a rastrear e detectar, permitindo uma infinidade de vídeos para análise.

Outra questão importante é o fato de o software PRIME apenas fornecer ferramentas auxiliares para mensuração de estenose e simetria da microsutura. Isso é feito através de um sistema milimetrado e análise das distâncias de cada sutura. Isso dificulta a praticabilidade e escalabilidade para uma grande quantidade de vídeos. Poder-se-ia utilizar novamente um sistema de *convolutional network* e *deep learning*, treinar um modelo para classificar as imagens finais das suturas em suturas simétricas e assimétricas, assim como vasos estenóticos e não estenóticos de forma que o programa iria aprender a fazer essa análise de forma natural(SIMONYAN; ZISSERMAN, 2015). Isso aceleraria de forma exponencial a análise dos vídeos, assim como auxiliaria o objetivo final do sistema, que é a independência do usuário humano. Essa abordagem também poderia ser estendida para o extravasamento de corante: ensinar ao sistema o que é um extravasamento extenso, extravasamento pequeno ou nenhum extravasamento, novamente o deixando atuar sem qualquer interferência(SIMONYAN; ZISSERMAN, 2015). É possível visualizar na Figura 9 a classificação de diversas imagens em um modelo de *deep learning* treinado para isso.

Fonte: Livro (ROSENBROCK, 2019)



Figura 9: Exemplo de um modelo de sistema de classificação de imagens com *deep learning* e *convolutional networks*.

10 Bibliografia

AGHA, R. A.; FOWLER, A. J. The role and validity of surgical simulation. **International Surgery**, v. 100, n. 2, p. 350–357, 2015.

DE OLIVEIRA, M. M. R. et al. Face, content, and construct validity of human placenta as a haptic training tool in neurointerventional surgery. **Journal of Neurosurgery**, v. 124, n. 5, p. 1238–1244, 2016.

DOSIS, A. et al. Real-time synchronization of kinematic and video data for the comprehensive assessment of surgical skills. **Studies in Health Technology and Informatics**, v. 98, p. 82–88, 2004.

DOSIS, A. et al. Synchronized video and motion analysis for the assessment of procedures in the operating theater. **Archives of Surgery**, v. 140, n. 3, p. 293–299, 2005.

GHANEM, A. M. et al. A systematic review of evidence for education and training interventions in microsurgery. **Archives of Plastic Surgery**, v. 40, n. 4, p. 312–319, 2013.

HUANG, T. S. **Computer Vision: Evolution and Promise**. 19th CERN School of Computing. **Anais...Egmond aan Zee: CERN**, 1996

KIM, D. H. et al. Neurosurgical education in a changing healthcare and regulatory environment: A consensus statement from 6 programs. **Clinical Neurosurgery**, v. 80, n. 4, p. S75–S82, 2017.

KOTSIS, S. V.; CHUNG, K. C. Application of the “see one, do one, teach one” concept in surgical training. **Plastic and Reconstructive Surgery**, v. 131, n. 5, p. 1194–1201, 2013.

MAGALDI, M. O. et al. Human placenta aneurysm model for training neurosurgeons in vascular microsurgery. **Clinical Neurosurgery**, v. 10, n. 4, p. 592–601, 2014.

MING LEUNG, C. C. et al. Towards a global understanding and standardisation of education and training in microsurgery. **Archives of Plastic Surgery**, v. 40, n. 4, p. 304–311,

2013.

MOORTHY, K. et al. Motion analysis in the training and assessment of minimally invasive surgery. **Minimally Invasive Therapy and Allied Technologies**, v. 12, n. 3–4, p. 137–142, 2003.

MOORTHY, K. et al. Validity and reliability of a virtual reality upper gastrointestinal simulator and cross validation using structured assessment of individual performance with video playback. **Surgical Endoscopy and Other Interventional Techniques**, v. 18, n. 2, p. 328–333, 2004.

NICHOL, A. J. et al. Examining the Relationships Between Coaching Practice and Athlete “Outcomes”: A Systematic Review and Critical Realist Critique. **International Sport Coaching Journal**, v. 6, n. 1, p. 13–29, 2019.

OLIVEIRA, M. M. et al. Face, content, and construct validity of Brain tumor microsurgery simulation using a human placenta model. **Operative Neurosurgery**, v. 12, n. 4, p. 61–67, 2016.

OTTENHAUSEN, M. et al. Expanding the borders: The evolution of neurosurgical approaches. **Neurosurgical Focus**, v. 36, n. 4, p. 1–5, 2014.

POLLARD, L. **Great News! No More Animals Used in U.S. or Canadian Medical Training**. Disponível em: <<https://www.peta.org/blog/great-news-no-animals-used-u-s-canadian-medical-training/>>.

REDMON, J. et al. **You only look once: Unified, real-time object detection**. Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. **Anais...Las Vegas: IEEE**, 2016

REN, S. et al. Faster R-CNN: Towards Real-Time Object Detection with Region Proposal Networks. **IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence**, v. 39, n. 6, p. 1137–1149, 2017.

ROSENBROCK, A. **Deep Learning for Computer Vision with Python**. 3rd Editio ed. [s.l: s.n.].

SADIDEEN, H.; KNEEBONE, R. Practical skills teaching in contemporary surgical education: How can educational theory be applied to promote effective learning? **American Journal of Surgery**, v. 204, n. 3, p. 396–401, 2012.

SIMONYAN, K.; ZISSERMAN, A. **Very deep convolutional networks for large-scale image recognition**. 3rd International Conference on Learning Representations, ICLR 2015 - Conference Track Proceedings. **Anais...**San Diego: Ithaca, NY: arXiv.org, 2015

SZELISKI, R. Computer vision: algorithms and applications. **Choice Reviews Online**, v. 48, n. 09, p. 48-5140-48–5140, 2011.

ZEILER, M. D.; FERGUS, R. Visualizing and understanding convolutional networks. **Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)**, v. 8689 LNCS, n. PART 1, p. 818–833, 2014.