JOSÉ WEBER VIEIRA DE FARIA

Criação, implementação e avaliação de um recurso didático
multimídia como suporte para o ensino da neuroanatomia:
realidade virtual e estereoscópica.

Tese apresentada à Faculdade de
Medicina da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Doutor em Ciências.

Área de concentração: Neurologia

Orientador: Prof. Dr. Eberval Gadelha
Figueiredo

São Paulo

2013

JOSÉ WEBER VIEIRA DE FARIA

Criação, implementação e avaliação de um recurso didático
multimídia como suporte para o ensino da neuroanatomia:
realidade virtual e estereoscópica.

Tese apresentada à Faculdade de
Medicina da Universidade de São
Paulo para obtenção do título de
Doutor em Ciências.

Área de concentração: Neurologia

Orientador: Prof. Dr. Eberval Gadelha
Figueiredo

(Versão corrigida. Resolução CoPGr 5890, de 20 de dezembro de 2010

A versão original está disponível na Biblioteca FMUSP)

São Paulo

2013

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Preparada pela Biblioteca da
Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

©reprodução autorizada pelo autor

Faria, José Weber Vieira de

Criação, implementação e avaliação de um recurso didático multimídia como
suporte para o ensino da neuroanatomia : realidade virtual e estereoscópica / José
Weber Vieira de Faria -- São Paulo, 2013.

Tese(doutorado)--Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.
Programa de Neurologia.

Orientador: Eberval Gadelha Figueiredo.

Descritores: 1.Anatomia/educação 2.Imagem tridimensional 3.Neuroanatomia
4.Materiais de ensino 5.Educação médica 6.Multimídia 7.Ensino/métodos
8.Avaliação educacional 9.Interface usuário-computador 10.Percepção de
profundidade 11.Estereoscopia 12.Técnica neuroanatômica 13.Realidade virtual

USP/FM/DBD-241/13

Nome: Faria, José Weber Vieira de

Título: Criação, implementação e avaliação de um recurso didático multimídia como suporte para o ensino da neuroanatomia: realidade virtual e estereoscópica.

Tese apresentada à Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo para obtenção do título de Doutor em Ciências. Área de concentração: Neurologia.

Aprovado em:

Banca Examinadora

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Prof. Dr. _____ Instituição: _____

Julgamento: _____ Assinatura: _____

Aos meus pais, aos meus filhos e à minha esposa por seu amor e apoio incondicionais durante todo o período de elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTOS

Ao meu orientador professor doutor Eberval Gadelha Figueiredo pelo exemplo de seriedade e competência profissional, pela receptividade e cortesia comigo e com minha família, pela orientação e motivação no decorrer deste período e pelo contínuo incentivo amigo e competente, presente em todo o desenvolver desta tese.

Ao professor doutor Manoel Jacobsen Teixeira pela atenção, suporte e confiança em admitir-me nesta casa para treinamento e por seu exemplo de dedicação, competência e disciplina fundamentais para o meu desempenho nestes anos. Lembrarei-me de suas palavras sobre seu gosto por uma anatomia de qualidade e a importância do tempo no aprimoramento do ser humano em sua dimensão profissional.

Ao professor doutor Luiz Francisco Poli de Figueiredo (*in memoriam*) pelo apoio com a área física para a realização da pesquisa no laboratório da disciplina de técnica cirúrgica e cirurgia experimental, o qual foi o primeiro professor a visitar o laboratório e mostrar seus ares de entusiasmo com o meu trabalho - terei sempre boas lembranças e saudade.

Ao professor doutor Jose Pinhata Otoch pelo apoio contínuo nos cedendo o espaço físico no laboratório de técnica cirúrgica e cirurgia experimental.

Ao professor doutor Carlos Augusto Pascualutti pela atenção dispensada no Serviço de Verificação de Óbitos.

Ao professor doutor Ricardo Nitrini pelas suas sugestões e palavras de incentivo, breves, porém fundamentais para o êxito do projeto.

Ao professor doutor Édson Aparecido Liberti pela orientação sobre a preparação das peças anatômicas deste estudo, de forma didática e competente, em seu curso de técnicas neuroanatômicas.

Aos professores doutor Jackson Cioni Bittencourt e doutor Newton Sabino Canteras pela atenção e abertura da disciplina de neuroanatomia para meu aprofundamento sobre o ensino da neuroanatomia na graduação, pela revisão do conteúdo aplicado atualmente aos alunos do curso de Medicina e

pelas suas colocações sobre o ensino, fundamentais para a minha formação crítica neste tema.

Ao doutor Richard Halti Cabral pelas palavras de estímulo, pela observação de algumas peças e por apresentar-me o conteúdo de neuroanatomia aplicado à graduação.

Ao professor doutor Renato Paulo Chopard que muito nos ensinou sobre a prática do ensino nas ciências morfofuncionais e sobre a educação médica aplicada à anatomia em sua disciplina.

Ao doutor Erich T. Fonoff pela gentileza em receber-me na neurocirurgia funcional como estagiário; exemplo de competência na ciência e na prestação de serviço.

Aos brilhantes colegas com quem convivi no Hospital de Clínicas da Universidade de São Paulo, aos membros da equipe da Neurocirurgia Funcional e Dor, orientadores, residentes, estagiários, enfermeiros e técnicos que, com seus trabalhos e exemplos de dedicação, seus conselhos e suporte teórico, sua prática clínica e cirúrgica ética e responsável, seu compromisso com a instituição e seus vastos conhecimentos de Medicina, foram exemplo e incentivo para minha contínua dedicação a minha formação.

Ao Magnífico Reitor da Universidade Federal de Uberlândia, professor doutor Alfredo Júlio Fernandes Neto, ao Vice-reitor, professor doutor Darizon Alves de Andrade e ao prefeito de campus professor Renato Alves Pereira que nos apoiaram na instalação de um laboratório multimídia e de técnica anatômica onde parte deste estudo foi realizada.

A todos os colegas do Serviço de Neurocirurgia da Universidade Federal de Uberlândia aos quais tenho a honra de representar há sete anos, pelo apoio e incentivo nesta empreitada.

Ao doutor Isac Alaor Dias por ter me substituído junto à Chefia do Serviço de Neurocirurgia, nos períodos de minha ausência, coordenando todo o Serviço com muita competência e seriedade.

Ao doutor Samuel Caputo de Castro que muito gentilmente presenteou-me com sua plataforma para fotografias, utilizada para aquisição de fotos convencionais, com deslocamento em eixo paralelo graduado, em sua tese de doutorado.

Ao Professor Antônio Geraldo Diniz Roquettte, um grande incentivador, presente em toda a minha carreira de Neurocirurgião, apoiando-me no mestrado, no aceite para assumir a Chefia do Serviço de Neurocirurgia de uma Universidade Federal aos meus 36 anos, na decisão de criar e coordenar a Residência Médica em Neurocirurgia há 6 anos e, neste momento, na conquista deste aprimoramento.

Aos Diretores do Hospital de Clínicas da Universidade Federal de Uberlândia, professor doutor Marcelo Simão Ferreira e ao professor doutor Cesar Augusto dos Santos, pelo interesse no aperfeiçoamento dos recursos humanos desta casa e pelo incentivo para as conquistas desta jornada, pessoais e institucionais.

Ao Professor doutor Ben Hurr Braga Taliberti, Diretor da Faculdade de Medicina da Universidade Federal de Uberlândia, e ao professor doutor Diogo Vilela Filho, Chefe do Departamento de Cirurgia, pelo incentivo a minha formação acadêmica e apoio nas conquistas que beneficiarão nossa instituição.

A senhorita Thais pela sua ajuda sempre atenciosa e competente na pós-graduação desta casa.

A senhora Junko Takano Osako pela amizade dispensada, pela sua presença amiga sempre me estimulando e pelos seus bons conselhos sobre o caminho a ser seguido em um laboratório e a toda a equipe técnica do laboratório pelo convívio e apoio às necessidades físicas de equipamentos para o desenvolvimento do trabalho no laboratório de técnica operatória.

Aos meus pais pelo seu amor gratuito, uma vida dedicada a mim sem cobranças, sempre presentes com seu apoio em minha formação acadêmica, oferecendo-me, na minha infância, o exemplo e as condições para uma educação e formação moral necessária para meu êxito pessoal.

À minha esposa Neiva de Freitas Faria, verdadeira heroína nestes três anos, assumindo a responsabilidade de mãe e profissional, com muita dedicação à nossa família; muitas mulheres são fortes, mas você superou todas elas.

Aos meus filhos Pedro Henrique de Freitas Faria, Matheus de Freitas Faria, Gabriela de Freitas Faria e, em especial, àquele que me ajudou em seis mil fotografias, Lucas de Freitas Faria, pelo amor e apoio incondicionais,

abdicando-se de minha presença em muitos momentos em prol da realização deste projeto.

A Deus que, conforme minha fé, me alimenta a alma e anima meu corpo, dando-me a força necessária para que eu cumpra meu trabalho na Medicina.

“São fúteis e cheias de erros as ciências que não nasceram da experimentação
– mãe de todo conhecimento.”

Leonardo Da Vinci

RESUMO

Faria JWV. Criação, implementação e avaliação de um recurso didático multimídia como suporte para o ensino da neuroanatomia: realidade virtual e estereoscópica [tese]. São Paulo: Universidade de São Paulo, Faculdade de Medicina, 2013. 137 f.

Esta tese teve como objetivo apresentar o processo de construção, aplicação e avaliação de uma ferramenta para o ensino da neuroanatomia, acessível a partir de computadores pessoais, imersiva, interativa, foto-realística e que permita visão tridimensional e estereoscópica. Quarenta encéfalos frescos foram obtidos no Serviço de Verificação de Óbitos de São Paulo (SVO-SP) e submetidos às técnicas de fixação, conservação, injeção vascular, coloração de substância cinzenta, dissecação de fibras brancas, terebintina e clareamento ósseo, conforme sua finalidade, no laboratório de Técnica Cirúrgica e Cirurgia Experimental da Universidade de São Paulo (USP). Imagens das áreas de interesse foram capturadas utilizando-se uma plataforma giratória manual construída para este fim. As imagens foram processadas com softwares comercialmente disponíveis (Photoshop CS5; Stereo Photo Maker; VRWorx2.6 para Windows) em formato não linear, interativo, tridimensional e estereoscópico, e armazenadas em um banco de 5.337 imagens finais. O recurso didático foi aplicado a 84 graduandos do curso de medicina, divididos em três grupos: convencional (grupo1), interativo não estereoscópico (grupo2) e interativo estereoscópico (grupo3), cujas médias na avaliação do conhecimento prévio não diferiram estatisticamente entre si ($P > 0,05$). A ferramenta foi avaliada através de uma prova teórica e prática. Verificou-se que os Grupos 2 e 3 apresentaram as maiores médias e diferiram estatisticamente do Grupo 1 ($P < 0,05$); o Grupo 2 não diferiu estatisticamente do Grupo 3 ($p > 0,05$), mostrando resultado do treinamento semelhante na prova teórica. Observando-se os Tamanhos do Efeito, verificou-se que esses foram de grande magnitude, indicando uma efetividade do treinamento dos alunos. Os resultados da ANOVA mostraram que existe diferença significativa ($P < 0,05$) entre as médias dos grupos, e por meio do teste de Tukey observou-se que existe diferença estatística entre o Grupo 1 e os demais ($P < 0,05$). Na prova prática pode-se observar, que de modo semelhante à prova teórica, não houve diferença estatística entre os Grupos 2 e 3. Os autores concluem que o método apresentado propiciou ganho de conhecimento e rendimento pedagógico significativamente superior quando comparado com o tradicional.

Descritores: Anatomia/educação; Imagem tridimensional; Neuroanatomia; Materiais de ensino; Educação médica; Multimídia; Ensino/métodos; Avaliação educacional; Interface usuário-computador; Percepção de profundidade; Estereoscopia; Técnica neuroanatômica; Realidade virtual

ABSTRACT

Faria JWV. Construction, implementation and evaluation of a multimedia tool as a teaching aid of Neuroanatomy: virtual reality and stereoscopic vision. [Thesis]. Sao Paulo: University of Sao Paulo, School of Medicine, 2013. 137 f.

This thesis aims to show the process of the construction, implementation and evaluation of a tool for teaching neuroanatomy. The tool presented is accessible from personal computers, immersive, interactive, and allows photorealistic three-dimensional and stereoscopic vision. Forty fresh brains were obtained from the São Paulo Department of Death Records (SP-DDR- Serviço de Verificação de Óbitos de São Paulo (SVO-SP)) and subjected to fixation, conservation, vascular injection, staining of gray matter, white fiber dissection, turpentine and bleaching bone techniques, as needed, at the Surgical Technique and Experimental Surgery Laboratory, University of São Paulo (Laboratório de Técnica Cirúrgica e Cirurgia Experimental da Universidade de São Paulo- USP). Images of areas of interest were captured using a manual turntable built for this purpose. The images were processed with commercially available software (Photoshop CS5; Stereo Photo Maker; VRWorx2.6 for Windows) non-linear format, interactive, three-dimensional stereoscopic and stored in a database of 5337 final images. The teaching resource was applied to 84 undergraduate medical students, divided into three groups: conventional (group 1), interactive non-stereoscopic (group 2) and interactive stereoscopic (group 3). Averages on the assessment of prior knowledge did not differ significantly ($P > 0.05$) among groups. The tool was evaluated through a written theory test and a lab practical. Groups 2 and 3 showed the highest averages and differed significantly from Group 1 ($P < 0.05$), Group 2 did not differ statistically from Group 3 ($p > 0.05$), revealing a result of similar training on the written theory test. Observing the Effect Sizes, it was found that those were of great magnitude, indicating student training effectiveness. ANOVA results showed significant difference ($P < 0.05$) between group means, and the Tukey test showed statistical difference between Group 1 and the others ($P < 0.05$). On the lab practical, it may be noted that similarly to the written theory test, no statistical difference between Groups 2 and 3 were found. The authors conclude that the tool presented provided a gain of knowledge for students and yielded significantly higher learning when compared with traditional teaching resources.

Keywords: Anatomy/education; tridimensional image; Neuroanatomy; Teaching material; Medical education; multimedia; teaching method; Educational evaluation; User-computer interface; Depth perception; Stereoscopy; Neuroanatomical technique; Virtual reality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Imagem do Papiro de Edwin Smith. Não se observa ilustração, o autor utiliza apenas da linguagem escrita	30
Figura 2 -	Placa de calcário representando uma pessoa com deficiência física. Segundo especialistas médicos, trata-se de sequela de poliomielite. O homem e sua mulher estão fazendo uma oferenda à deusa Astarte, da mitologia fenícia.....	31
Figura 3 -	A leoa agonizando ou morrendo, encontrada na Mesopotâmia, no palácio de Assurbanipal (650 a.C.). A medula espinhal da leoa foi lesada por uma flecha e ela tenta rastejar para frente, arrastando seus membros inferiores plégicos. Ilustra um conhecimento de topografia e função neurológica da época	32
Figura 4 -	Diagramas esquemáticos com ilustrações medievais da doutrina celular da função cerebral. Observa-se que não há qualquer preocupação em representar o cérebro de forma realista e com perspectiva. A- Ilustração de Hieronymus Brunschwig (1512) na obra Liber de arte distillandi de compositis B- Ilustração de Johannes Peyligk(1499) em Compendium Philosophiae Naturalis. C- Ilustração de Mathias Qualle (1510) em Philosophie Naturalis cum Commentariis.....	37
Figura 5 -	Tábulas de anatomia do discípulo de Mondino de luizzi: Guido de Vigevano.....	38
Figura 6 -	Desenho medieval ilustrando o cérebro e vasos sanguíneos de autor desconhecido (1250).....	38
Figura 7 -	Ilustrações de Leonardo Da Vinci. A e B- Desenhos do encéfalo, nervos cranianos e ventrículos cerebrais ainda representando em parte a teoria das células. A face tem características mais realísticas que o sistema nervoso. B- Desenho dos ventrículos laterais, terceiro e quarto ventrículos com percepção de profundidade e realismo na correlação com estruturas vizinhas. Fonte: Neurosurg Focus 27 (3):E2, 2009. C- Capa da obra “Tratado da Pintura” onde Leonardo Da Vinci aborda as regras para o desenho com perspectiva	40
Figura 8 -	Ilustrações da obra de Johann Dryander, Anatomia Capites Humani, publicada em 1536. A- Ilustração com o título: Universalis Figura Humani Capitis que retrata a transição da ilustração conforme o período medieval, sem compromisso em retratar a estrutura anatômica. B- Ilustração com o título: Humani Capitis Figura Nona. Representa o cérebro de forma realista conforme dissecação realizada pelo autor. C e D- Dissecações realizadas pelo autor, mostrando a base do crânio.....	41

Figura 9 -	Ilustrações da obra de Andreas Vesalius “De Humani Corporis Fabrica Libri Septem”, primeiro publicada em 1543. A- Primeira ilustração da base do cérebro, com somente 7 pares de nervos cranianos. Fonte: Neurosurgery 66: 7-18,2010. B e D – Sequência de ilustrações do crânio e cérebro humano, mostrando maior detalhe na apresentação das estruturas intracranianas.....	42
Figura 10 -	Ilustração da obra de Thomas Willis Cerebri Anatome, mostrando a face basal do encéfalo	43
Figura 11 -	Ilustração descrevendo a base do cérebro humano feito por Samuel Thomas Soemmerring em sua obra Über der Organ der Seele (1799). Observa-se a clareza e acura-se na representação das estruturas	44
Figura 12 -	Ilustrações utilizando cores na obra de Charles Bell (1802). A- Observa-se uma secção axial do encéfalo humano, demonstrando a anatomia do ventrículo lateral e fórnix. B- Observa-se a face medial do encéfalo humano com cores vermelhas para artéria, azul para veias e a cor do parênquima contrastando	45
Figura 13 -	Protótipo do Sensorama.....	53
Figura 14 -	Ilustração do simulador e capacete do projeto “Super Cockpit” de Tom Furness	54
Figura 15 -	Ilustração da projeção e visualização de uma imagem estereoscópica em anaglifo vermelho/azul. Lentes azul e vermelha filtram as duas imagens projetadas, permitindo que apenas uma delas alcance cada olho.....	61
Figura 16 -	Os óculos polarizados permitem apenas uma das imagens em cada olho, porque cada lente tem uma polarização diferente	62
Figura 17 -	Sala do laboratório junto à Disciplina de Técnica Cirúrgica e Cirurgia Experimental. A- Foto da sala do laboratório utilizada para a preparação dos espécimes anatômicos. B- Material utilizado para dissecação. C- Substâncias químicas para neurotécnicas. D- Frascos plásticos para armazenamento dos espécimes	68
Figura 18 -	Preparação do espécime para a técnica anatômica. As artérias carótidas e vertebrais foram dissecadas e separadas dos tecidos vizinhos. A seguir foram cateterizadas bilateralmente tomando-se o cuidado para não haver vazamento na injeção. Procede-se a injeção de formol para a fixação. Alguns espécimes são submetidos à injeção de látex colorido para visualização das artérias e seus ramos superficiais	71

Figura 19 -	Amostra de espécimes submetidos a diferentes técnicas neuroanatômicas. A- Espécime submetido à técnica de conservação sem imersão em líquido: Método de Giacomini. B- Espécime submetido à técnica de conservação sem imersão em líquido: Método do Hochstetter, seguido de pintura das áreas de interesse. C – Espécime submetido à Técnica de fixação com formol e remoção de meninges. Usado Terebentina na dura mater. D- Espécime submetido à técnica de dissecação de fibras brancas: Método de Klinger	74
Figura 20 -	Amostra de espécimes submetidos à técnica de injeção vascular de látex, preparados para estudo da irrigação arterial e venosa do encéfalo. A e B – Espécimes preparados para ilustrar o território de irrigação da artéria cerebral anterior, cerebral média e cerebral posterior na superfície lateral e basal do hemisfério cerebral. C – Artérias da superfície basal com atenção para ramos da vertebral, basilar e polígono de Willis. Observa-se as artérias vertebrais, basilar, PAICA, AICA, SULCA, ACP, AcoP, ACI, ACM, ACA, AcoA, ramos da artéria cerebral média. D – Seio sagital superior e veia de drenagem superficial	75
Figura 21 -	Amostra de espécimes submetidos ao método do Hochstetter e, posteriormente submetidos à pintura. A- Território de irrigação arterial da superfície lateral do cérebro. B- Território de irrigação arterial da superfície medial do cérebro. C- Território de irrigação arterial dos diferentes ramos da artéria cerebral média. D- Território de irrigação dos diferentes ramos da artéria cerebral anterior. Verde=artéria cerebral média; vermelho: artéria cerebral anterior; azul: artéria cerebral posterior	76
Figura 22 -	Amostra de imagens de espécimes submetidos à técnica de coloração para substância cinzenta – método de Mulligan. A- Corte axial do encéfalo visualizando-se os núcleos da base e o ventrículo lateral. B- Corte axial do tronco encefálico (ponte) e cerebelo evidenciando o pedúnculo cerebelar médio. C- Corte axial do encéfalo evidenciando o corpo do ventrículo lateral, núcleo caudado, tálamo e plexo coroide. D- Espécime dissecado evidenciando o cerebelo, pedúnculo cerebelar superior e o assoalho do quarto ventrículo	77
Figura 23 -	Ilustração de amostra de espécimes ante e após a edição com o software Photoshop CS 5. A e C ilustram os espécimes fotografados no suporte. B e D ilustram a sequência dos mesmos espécimes após a editoração	78
Figura 24 - A/D -	Imagem mostrando um modelo de plataforma giratória manual acoplada a um suporte para câmara fotográfica também giratório e manual, para colocação do objeto (peça anatômica) e da máquina fotográfica e obtenção de fotografias em diversos eixos ..	83

Figura 25 - Ilustração da plataforma giratória construída para a aquisição das imagens. A- Plataforma ilustrando o braço com a câmera fotográfica, o espécime dissecado e submetido à técnica neuroanatômica apoiado sobre o suporte, ambos sobre a base circular giratória manual. B- Ilustração do movimento realizado com o braço de até 180°. C- Suporte para a base da plataforma e para o braço, permitindo o controle da angulação do movimento. D- Ilustração do movimento realizado com a plataforma giratória sobre o suporte de até 360°	84
Figura 26 - Fotografia da interface do software VR Worx 2.6.1 utilizado na construção da ferramenta. Observa-se a seleção do ícone “Create an Object” (Criar um Objeto). O espécime anatômico corresponde ao objeto que será criado.....	85
Figura 27 - Interface da segunda etapa para aquisição do Objeto. O ícone “setup” permite a programação de quantas colunas e linhas serão utilizadas, bem como o ângulo utilizado entre cada imagem no processo de aquisição.....	86
Figura 28 - Ilustração da aquisição das imagens que são armazenadas em “frames” (quadros) seriados, longitudinais (linhas) e verticais (colunas). A ilustração mostra uma câmara que representa a máquina fotográfica utilizada, e um parafuso que representa o espécime (objeto)	87
Figura 29 - Ilustração de uma grade de imagens organizadas em janelas sequenciais, em linhas e colunas, conforme a ordem de aquisição, armazenadas no software VR Worx 2.6.1	88
Figura 30 - Ilustração da composição final tridimensional visualizada pelo usuário no espaço virtual da tela do computador. O movimento com o mouse pelo usuário leva ao movimento da peça visualizada no mesmo sentido, caracterizando a propriedade de interatividade da ferramenta	88
Figura 31 - Visualização das imagens direita e esquerda para a formação do estereopar	89
Figura 32 - Modelo da imagem estereoscópica finalizada	90
Figura 33 - Ilustração do laboratório de Realidade Virtual, com os computadores exibindo em suas telas arquivo VR Worx aplicado na aula sorteadora (Sistema Límbico). Os alunos estão realizando a avaliação teórica	92
Figura 34 - Ilustração dos alunos submetidos à aula com a ferramenta de ensino, realizando sua avaliação prática. Foram utilizadas as peças dissecadas e apresentadas na aula no arquivo VR Worx 2.6.1	93
Figura 35 - Imagens ilustrando a prova prática em que os estudantes deveriam identificar as estruturas apontadas com o alfinete	94
Figura 36 - Visualização de arquivos de imagens no formato VRWorx, tridimensional e interativo, não estereoscópico	96

Figura 37 -	Amostra de imagens de pares estereoscópicos formados a partir da sequência de aquisição das imagens. Foram consideradas a primeira imagem como esquerda e a imagem seguida como a direita	97
Figura 38 -	Ilustração da imagem estereoscópica interativa	98

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 - Distribuição das médias das notas obtidas na avaliação antes e depois da aplicação da aula segundo os três grupos de alunos	99
Gráfico 2 - Distribuição das médias das notas obtidas na avaliação prática segundo os diferentes grupos	100
Gráfico 3 - Distribuição das respostas das vantagens da ferramenta de ensino sobre o método tradicional	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 -	Distribuição das técnicas anatômicas segundo o material utilizado e o procedimento realizado	70
Tabela 2 -	Distribuição dos espécimes segundo a técnica anatômica utilizada e o conteúdo principal disponível para visualização	79
Tabela 3 -	Distribuição e comparação da média das notas antes e depois da aula e tamanho do efeito da intervenção em cada grupo	99
Tabela 4 -	Distribuição e comparação das médias obtidas na prova prática por cada grupo	100
Tabela 5 -	Relação do material e serviço necessários para a construção da plataforma, edição final das imagens e seus custos em reais	102

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AAMC	American Association of Medical Colleges
HMDs	Head-mounted displays
LCD	Visores de Cristal Líquido
MacOS	Macintosh Operating System
PC	Computador Pessoal
QT	Quick Time
QTVR	Quick Time Virtual Reality
RV	Realidade Virtual
SVO-SP	Serviço de Verificação de Óbitos de São Paulo
VCASS	Visually Coupled Airborne Systems Simulator
VIVED	Virtual Visual Environment Display
2D	Bidimensional
3D	Tridimensional
CFTOZ	Craniotomia Fronto Orbitozigomática
SPSS	Statistical Product and Service Solutions

LISTA DE SÍMBOLOS

- GRAU

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	22
2	OBJETIVO	27
3	REVISÃO DA LITERATURA	28
3.1	História da neuroanatomia: a representação das estruturas neurais	28
3.2	Ensino da neuroanatomia	47
3.3	Realidade virtual	52
3.3.1	<i>Histórico da realidade virtual</i>	52
3.3.2	<i>Conceito de realidade virtual</i>	56
3.3.3	<i>Formas de RV</i>	56
3.3.4	<i>Estereoscopia</i>	57
3.3.5	<i>Criação de realidade virtual</i>	63
3.3.6	<i>Aplicações da realidade virtual na neuroanatomia e na neurocirurgia</i>	63
3.3.7	<i>Quick Time (QT)</i>	67
4	CASUÍSTICA E MÉTODOS	69
4.1	Aquisição, preparação e dissecação dos espécimes	69
4.2	Aquisições das imagens	82
4.3	Editoração das fotografias	84
4.4	Processamentos das imagens para o formato bidimensional convencional	85
4.5	Processamentos das imagens para o formato tridimensional interativo	85
4.6	Processamentos das imagens para o formato estereoscópico	89
4.7	Processamento das imagens para o formato linear estereoscópico interativo	90
4.8	Implementação e avaliação da ferramenta de ensino	91
4.9	Análise estatística	94
4.10	Ética	95
5	RESULTADOS	96
5.1	Material didático desenvolvido	96
5.2	Avaliação da ferramenta	98
6	DISCUSSÃO	103
6.1	Discussão sobre a remoção, o preparo e as técnicas neuroanatômicas	103
6.2	Discussão sobre a técnica de aquisição de imagens	105
6.3	Discussão sobre a avaliação da ferramenta de ensino	107
7	CONCLUSÃO	112
	REFERÊNCIAS	113
	APÊNDICE A – CD com amostra de imagens	124
	APÊNDICE B - Texto da aula sorteada de Neuroanatomia	125
	ANEXO A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido	136
	ANEXO B – Aprovação do Comitê de Ética	137

1 INTRODUÇÃO

O processo de instrução e aprendizado da neuroanatomia é árduo e elaborado, próprio da complexidade do assunto e das limitações dos métodos de ensino. Entretanto, há diversas maneiras, formas ou métodos educacionais empregados para o ensino da neuroanatomia. Vários recursos ou ferramentas didáticos têm sido elaboradas ao longo do tempo e aplicadas na educação como, por exemplo, a dissecação de cadáveres, livros textos, treinamento intraoperatório e, nos últimos anos, o ensino auxiliado pelo computador e realidade virtual.¹⁻⁴

Essas ferramentas são efetivas, mas cada uma tem suas desvantagens. Os livros textos, utilizados tradicionalmente nos cursos de neuroanatomia na atualidade, baseiam-se em anatomia bidimensional (2D), limitada por ser de visão fixa e difícil de ser extrapolada para visões encontradas durante os acessos cirúrgicos.⁵⁻¹⁰ Há a falta de praticidade na manipulação das páginas, exigindo o avanço e retrocesso constante para visualizar as estruturas em ângulos diferentes. No atlas ilustrado, há a dificuldade em retratar as formas e relações anatômicas como aparecem para o estudante nas dissecações e para o cirurgião no ato cirúrgico. As ilustrações são elaboradas sem a preocupação de representarem a realidade no que diz respeito às cores, tamanhos, luminosidade e profundidade e, dessa forma não correspondem ao que o estudante pode visualizar nas peças anatômicas.¹¹⁻¹⁷

No caso do atlas de fotografias, apesar do maior realismo das imagens, não é possível observar todas as estruturas relacionadas à parte exposta, sendo necessárias várias imagens para retratar várias estruturas de um mesmo órgão. Mesmo o atlas cirúrgico 2D, obtido de uma perspectiva cirúrgica, falha em representar a intrincada estrutura 3D e a correlação espacial entre as diversas estruturas dissecadas não é óbvia.^{4,18,19}

A dissecação de cadáver, método utilizado na construção do conhecimento anatômico, é um tradicional suporte para ensinar anatomia e técnica neurocirúrgica, embora existam poucas evidências objetivas de sua superioridade sobre outras ferramentas de ensino.²⁰

A dissecação no laboratório de neuroanatomia permite a visualização do espécime na forma tridimensional, com a experiência tátil. A dissecação como método de ensino tem outras vantagens como, por exemplo, introduzir conceitos sobre a vida e a morte, ser um contato do estudante com o humano real e desenvolver o espírito de equipe médica.²¹ Ao mesmo tempo, a dissecação é um processo proativo, em que o aluno elabora seu conhecimento ao dissecar, diferentemente dos antigos teatros de anatomia do séc. XVI em que apenas observava-se a dissecação feita por um anatomista, sem qualquer participação do público.^{21,22}

O processo da dissecação é interativo e pode ser aplicado para a realidade do centro cirúrgico. Infelizmente existem várias limitações práticas que colocam em pauta a possibilidade inclusive da não utilização de cadáveres na anatomia. A viabilidade de cadáveres é limitada, os custos são consideráveis e o estudante deve desprender de uma substancial quantidade de tempo. Adicionalmente as substâncias utilizadas para a fixação, conservação e preparação das peças, como o formol, podem ser tóxicas. Há também risco potencial de contaminações com material biológico.^{1,23-27}

Anatomia neurocirúrgica é também aprendida na sala cirúrgica por meio de um aprendizado relacional, do estudante com o cirurgião sênior. A anatomia aprendida nesse local forma a base da carreira do neurocirurgião. Esse modelo de aprendizado é utilizado para a aquisição de habilidades neurocirúrgicas, mas tem desvantagens relativas ao ensino da neuroanatomia: aprendizado na sala de cirurgia tende a ser sob pressão e limitado pelo tempo, além da exposição anatômica restringir-se à região da enfermidade em tratamento. Muitas vezes, a anatomia observada em procedimentos cirúrgicos pode estar distorcida pela própria lesão que pode destruir, envolver, desviar e alterar as estruturas cerebrais. Não encontramos estudos que abordem especificamente o ensino da neuroanatomia durante o procedimento neurocirúrgico.

Nos últimos anos, no entanto, o atlas passou também a apresentar seu conteúdo em formato digital, possibilitando o acesso às informações por meio de computadores pessoais ou portáteis, alguns acrescentando secções de imagens tridimensionais.^{16,28} Em sua maioria, esses atlas oferecem um maior número de recursos visuais e interativos ao usuário, o que faz com que sejam

cada vez mais utilizados por estudantes e profissionais. Podem-se encontrar ainda recursos digitais multimídia com visualização das estruturas em duas e em três dimensões, alguns contendo animações de funcionalidades de órgãos e sistemas.²⁹⁻³¹

No entanto, a grande maioria desses atlas não apresenta recursos estereoscópicos, os quais, quando acessíveis, disponibilizam imagens obtidas através de modelos gráficos, não exibindo a peça anatômica com suas características reais.³² Mesmo com os esforços direcionados para a melhoria dos atlas de papel, os atlas digitais com conteúdos neuroanatômicos vêm apresentando vantagens significativas tais como: a possibilidade de interagir com o objeto (escolher a peça ou texto a ser visualizado) e um maior realismo das estruturas anatômicas. Mesmo assim, há um conjunto de características a serem desenvolvidas e melhoradas para possibilitar uma melhor absorção das informações contidas nesses atlas digitais.

Novas tecnologias da informação têm sido amplamente utilizadas no ensino em saúde e sistemas de realidade virtual têm sido desenvolvidos para a educação em medicina e aplicados em áreas de planejamento cirúrgico. Especificamente, na neurocirurgia, autores desenvolveram programas que permitem simulação de punção ventricular, com e sem retorno háptico, sistemas para simulação de craniotomias e reconstrução da base do crânio com atenção às estruturas vasculares vizinhas da estrutura a ser operada.^{33,34} Outros autores desenvolveram tecnologia para apoio à cirurgia com neuronavegação, permitindo que, por meio da reconstrução de imagens de ressonância nuclear magnética, o cirurgião tenha mais uma ferramenta com referência para seu direcionamento no transoperatório.³⁵⁻³⁶ Esses recursos objetivam, além do treinamento da habilidade do cirurgião, oferecer melhores ferramentas para guiá-lo em um procedimento cirúrgico, orientando-o diante da anatomia da região a ser abordada cirurgicamente, de forma a mostrar-lhe os melhores acessos. Dessa forma, esses sistemas desenvolvidos são virtuais e dão suporte a situações reais (sobrepondo elementos virtuais a uma situação real), além de incorporarem habilidades nessas simulações, por isso espera-se que possam promover melhores resultados com a sua utilização.

O Quick Time VR (QTVR) é uma das tecnologias que podem ser usadas efetivamente para interação, visualização foto-realística da anatomia em muitos níveis de magnificação e, acoplado a recursos de *softwares* que trabalham camadas de imagens, pode expor, por exemplo, uma sequência de dissecação em um procedimento cirúrgico, acrescentando uma quarta dimensão, a dimensão temporal. Essa tecnologia exige grandes recursos financeiros e uma equipe de profissionais especializada em engenharia biomédica e computação gráfica. Estudos publicados entre 2000 e 2006 utilizaram essa tecnologia, porém provavelmente, por questões de altos custos, não foram ainda aplicados na pedagogia médica.³⁷⁻⁴⁰

Alguns métodos de dissecação e obtenção de imagens tridimensionais para armazenamento e utilização no ensino têm sido publicados, orientando a captação da imagem, a utilização de imagens analógicas e a projeções com slides, utilizando técnicas de anáglifos.⁴¹

No Brasil, neurocirurgiões estão envolvidos com a criação de imagens estereoscópicas e tridimensionais com a utilização da projeção de estereopares na forma de anáglifos ou luz polarizada, bem como com a impressão dessas imagens em papel.⁴²⁻⁴⁴ Nesses estudos, as imagens estereoscópicas são de excelente qualidade visual, adquiridas de espécimes bem preparados. No entanto, a técnica impõe limites para a projeção que obrigatoriamente é estática, não permitindo a interatividade com o apresentador, nem a visualização por múltiplos ângulos. É exibida apenas uma imagem de cada vez e com ângulo de visão fixo, aquele entendido pelo autor, após múltiplas visualizações em ângulos diferentes na própria peça, como provavelmente o melhor para que a estrutura seja visualizada pelo aluno.

Diante do rápido desenvolvimento tecnológico da computação e da realidade virtual, sua recente e crescente aplicação como ferramenta para o ensino da anatomia e cirurgia e às inúmeras possibilidades oferecidas por esses recursos como, por exemplo, permitir a construção de imagens coloridas e tridimensionais, com movimentos, interação com o usuário, experiência tátil em ambientes de imersão, somos todos motivados, quase que instintivamente, a aderirmos a essas inovações, mesmo que sem evidências que demonstrem suas reais vantagens e desvantagens, especificamente no que tange ao

ensino. Interrogamo-nos sobre as vantagens da realidade virtual sobre as técnicas utilizadas tradicionalmente.

Acreditamos que um método interativo, baseado em imagens reais estereoscópicas e de baixo custo permitirá uma utilização mais proveitosa e agradável por parte do aluno, com possíveis vantagens sobre os métodos estáticos convencionais.

2 OBJETIVO

Elaborar um inédito recurso didático para o ensino de neuro-anatomia, de baixo custo, acessível a partir de computadores pessoais, imersivo, interativo, foto realístico e que permita visão tridimensional estereoscópica e, secundariamente, avaliar o grau de aprendizado dos alunos após a sua utilização, comparando-o com métodos de ensino tradicionais.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3.1 História da neuroanatomia: a representação das estruturas neurais

O termo anatomia origina-se do grego antigo (Ana= parte, tome= cortar).^{45,46} Significa cortar em partes as estruturas, dissecá-las, objetivando o estudo dessas partes para a aquisição do conhecimento e sua posterior aplicação. Com o intuito de entendermos como se deu a construção do conhecimento neuroanatômico ao longo da história e a sua transmissão aos estudiosos, revisaremos a história da neuroanatomia com enfoque na forma e nas ferramentas utilizadas para representar o sistema nervoso, por exemplo, a escrita, os desenhos, a pintura, a fotografia e, na atualidade, a computação gráfica e a realidade virtual. O tópico realidade virtual será abordado em item separado.

A representação da neuroanatomia e das disfunções relacionadas aos danos gerados às estruturas neuroanatômicas se deram de formas diversas ao longo da história. Acredita-se que a transmissão do conhecimento no período pré-histórico, período sem documentação literária, provavelmente deu-se a partir da observação e da transmissão verbal, feita por nossos ancestrais com habilidades de linguagem, por isso não há registros que demonstrem esse conhecimento. Por meio de estudos realizados por antropólogos, há evidências que demonstram inicialmente uma transmissão do conhecimento por meio de práticas “médicas”: as trepanações. Essa prática obrigatoriamente envolvia um conhecimento anatômico no período pré-histórico uma vez que crânios, que datam de até 10.000 anos atrás, obtidos em escavações, apresentando aberturas intencionalmente provocadas em sua superfície, realizadas de forma a preservar a vida do indivíduo, apresentavam proliferação celulares nas bordas ósseas, sinais de cicatrização, impossíveis de ocorrerem após a morte, deixando clara a existência de um conhecimento anatômico que permitia sua realização com segurança.^{47,48}

Há pouca literatura sobre a prática médica na antiguidade, na época egípcia e babilônica. Sabe-se que as dissecações anatômicas foram realizadas nesse período, quando a prática da medicina era fundamentada em magia e

superstição e a representação de personagens tinha valor temático, ilustrar personagens de uma hierarquia como o faraó e seus súditos, por exemplo, ou espiritual. O papiro de Edwin Smith, escrito 1700 anos antes de Cristo é considerado o livro mais antigo conhecido de cirurgia, onde se encontram relatos de casos, diagnósticos, prognósticos e a possibilidade de tomar alguma medida terapêutica. Não há qualquer ilustração das estruturas anatômicas mencionadas nos textos (Figura 1). Há uma descrição detalhada de estruturas nervosas, sem desenhos, conforme a observação visual do examinador, com detalhes escritos de situações clínicas como: trauma de crânio, fraturas cominutivas e afundamentos, lacerações, ferimento por arma branca e descrições diversas das estruturas envolvidas como, por exemplo, o cérebro, líquido, meninge e crânio e a conduta a ser adotada.⁴⁹

ir sd dnnt.f ngy 3is n dnn.t.f

As for 'the smashing in of his cranium and exposure of the brain in his cranium

sd wr wb3 n hnw dnn.t.f

the smash fracture is large, opening to the inside of his cranium

ntnt 'rf.t 3ls.f

the membrane enveloping his brain

sd hr.f nh.f m hnw tp.f

is ruptured and its fluid falls from the interior of his head.

Figura 1 - Imagem do Papiro de Edwin Smith. Não se observa ilustração, o autor utiliza apenas da linguagem escrita.

Fonte: Sanchez e Burrige (2007).

Outra forma utilizada para a representação da anatomia, além da escrita, foi a expressão do conhecimento por meio de esculturas e peças artesanais feitas em barro e calcário. Esculturas egípcias de aproximadamente 1500 anos a.C. retratam alterações tróficas em partes do corpo humano que denotam um comprometimento de estruturas anatômicas do sistema nervoso secundários a uma doença neurológica como, por exemplo, os membros inferiores com amiotrofia característica de poliomielite (Figura 2).⁵⁰⁻⁵¹

Figura 2 - Placa de calcário representando uma pessoa com deficiência física. Segundo especialistas médicos, trata-se de sequela de poliomielite. O homem e sua mulher estão fazendo uma oferenda à deusa Astarte, da mitologia fenícia.

Fonte: http://www.ampid.org.br/Artigos/PD_Historia.php

Na Mesopotâmia, 700 anos a.C., uma escultura de uma leoa deixa claro um conhecimento de anatomia topográfica com correlação funcional, uma vez que o animal encontra-se ferido por flechas na região da medula dorsal, arrastando as patas traseiras, não funcionais, apoiado apenas em suas patas dianteiras, caracterizando uma associação entre o sítio do ferimento e a consequente paraplegia (Figura 3).⁵⁰⁻⁵¹

Figura 3 - A Leoa agonizando ou morrendo, encontrada na Mesopotâmia, no palácio de Asshurbanipal (650 a.C.). A medula espinhal da leoa foi lesada com uma flecha. Ela tenta rastejar para frente, arrastando seus membros inferiores plégicos. Ilustra um conhecimento de topografia e função neurológica da época.

Fonte: Naderi, Türe e Glenn (2004).

Alterações anatômicas superficiais do corpo humano foram também expressas por meio de esculturas de barro que datam de 500 anos a.C., encontradas na América do Sul e Central, criadas por indivíduos das civilizações Maias, Astecas e Incas. Essas esculturas exibem faces deformadas, com desvio da rima bucal e ptose palpebral, características de uma paralisia facial periférica; outras mostram pés em equino varo e valgo, alterações tróficas de membros que retratam disfunções de caráter neurológico, porém criadas sem o objetivo de representar a neuroanatomia.⁵¹

Alguns autores analisaram a tradução inglesa do livro “Ilíada” de Homero, buscando interpretar conceitos de saúde e de doença na Grécia antiga e descrever observações de significância neurológica descritas nessa obra, sendo os achados discutidos com atenção às ideias sobre anatomia e fisiologia daquela época.⁵² Os eventos históricos pressupostos ocorreram em Circa, 1200 anos a.C., mais que sete séculos antes da idade clássica da Grécia Antiga e do desenvolvimento das ideias revolucionárias de Hipócrates (460-370 a.C.). Nesse período, a origem das doenças adivinha de deuses que causavam aflições ao cérebro como epilepsia, histeria e insanidade.

Os textos de Homero descrevem injúrias causadas por armas utilizadas por guerreiros, citam o local de entrada e sua consequente manifestação clínica.⁵² As numerosas descrições de morte após traumatismo penetrante no crânio e lesões descritas como do encéfalo sugerem que o mesmo era reconhecido pelos Gregos como absolutamente essencial para a vida.⁵² Foram também descritas lesões da medula as quais estavam associadas a quadro de queda do corpo ou perda dos membros (denotando perda da força motora), embora apenas séculos mais tarde os escritos de Hipócrates considerassem a medula espinhal como extensão do cérebro e que sua injúria causaria paralisia. São descritas lesões na região do ombro, entre o pescoço e o tórax, levando a fraqueza da mão até o punho secundário à quebra dos nervos, sugerindo injúria do plexo braquial⁵². As descrições são uma evidência de um conhecimento sólido da correlação entre a topografia de uma lesão ou ferimento provocado intencionalmente a regiões do corpo do humano e as suas consequências para o organismo.⁵²

Outras fontes literárias de informações também investigadas por pesquisadores foram a Bíblia, escrita em Hebreu, Aramaico e Grego e o Talmud, onde se encontram descrições de casos e sintomas como paralisia de membros, paralisias cerebrais, pulsação de fontanela, epilepsia, malformação craniana, coma, hemorragia, cefaleia, acidente vascular cerebral e trepanações (descritas para o tratamento de convulsões no Talmud).⁵³ Nessas obras, as doenças são citadas sem a intenção de descrever a anatomia, porém retratando um conhecimento do entendimento das doenças neurológicas e das estruturas envolvidas. No entendimento dos antigos, a dimensão espiritual do

homem estava relacionada a várias doenças neurológicas. Mesmo a abordagem não sendo anatômica, em algumas situações, pode-se associar a lesão ao sintoma como, por exemplo, a injúria cerebral de Golias, o gigante, causada por um traumatismo direto de uma pedra, lançada por David, atingindo seu crânio.⁵³

Na Grécia antiga, destaca-se, na história da anatomia, um dos fundadores da ciência e “pai da medicina”, Hipócrates de Cós (460-377 a.C.), autor de 72 textos, criador da “Teoria Humoral da Enfermidade”, uma explicação racional da saúde e da doença, na qual a vida era mantida pelo equilíbrio entre os quatro humores: sangue, fleuma, bÍlis amarela e bÍlis negra, procedentes, respectivamente, do coração, sistema respiratório, fÍgado e baço. Seus textos concordam em rejeitar uma causa divina e religiosa para a origem das doenças e buscam um mecanismo natural para sua explicação. Hipócrates entendia que o cérebro era a sede de toda a emoção e vida mental. Uma das obras mais marcantes atribuída a Hipócrates foi “On Head Wounds”, que inclui o primeiro estudo científico que descreve a anatomia do crânio, baseado em uma observação meticulosa e sistemática sem conotações religiosas.^{54,55}

Nessa mesma época, destacam-se Herófilo, nascido na Calcedônia (300 a.C.), em BitÍnia, hoje na Turquia, primeiro a dissecar o cadáver humano e a descrever que os vasos continham sangue e não ar, conhecido como o “pai da Anatomia”, e ErasÍstrato de Circa (260 a.C.), nascido na ilha de Keos, na Grécia, conhecido por descrever o cérebro e o cerebelo.⁵⁶ Os dois foram responsáveis por introduzir a disciplina de dissecação anatômica na escola de Alexandria (sécuro III a.C.). Herófilo e ErasÍstrato dissecavam cadáveres de condenados à morte e descreviam cuidadosamente suas dissecações dos nervos: foram os primeiros a citar a existência de dois tipos de nervo, os que causavam movimento voluntário e os capazes de sensação. Entretanto, esses autores diferiam quanto ao pensamento da origem dos nervos, segundo ErasÍstrato a origem dos nervos sensitivos está nas meninges e a dos motores no cérebro e cerebelo, já Herófilo acreditava que os nervos motores originavam-se do cérebro e da medula espinhal.⁵⁶ Não há qualquer evidência de ilustrações em suas obras.

Galeno de Pérgamo (129 d.C. a 200 d.C.) estudou medicina em Esmirna, Corinto e Alexandria, e fez tremendos avanços no conhecimento neuroanatômico por meio da dissecação de animais, vivisseções e da prática médica. Dissecou primatas, porcos e animais domésticos e fundamentou, a partir dos resultados obtidos em dissecações, o conhecimento médico por meio milênio. Seu trabalho mais importante foi a obra *De Anatomicis Administrationibus*, baseada em estudos realizados em macacos (*Macacus inuus*). As suas observações foram arbitrariamente adaptadas para humanos, levando a descrições errôneas da anatomia humana, mais tarde corrigida por Vesalius.^{56,57}

Foi um encefalocentrismo, entre os cardiocentristas, que deixou clara sua visão sobre o controle do movimento dos músculos pelos nervos que vêm do cérebro. Galeno propôs pela primeira vez que o corpo fosse controlado pelo cérebro, localizou a alma funcional no *enkephalon*, a parte com a qual ele achava que raciocinamos, onde se localizava o pneuma psíquico. Assim, Galeno atribuiu ao cérebro as funções da percepção que Aristóteles havia atribuído ao coração. Galeno defendia a teoria de que o Pneuma Psíquico, uma substância que ele acreditava se formar nos ventrículos cerebrais, fluiria através dos nervos conferindo a sensação e os movimentos voluntários. Aos seus olhos, a corrente sanguínea transportava a energia vital, queimada pelo coração, levada então até a base inferior do cérebro, onde ela se transformava em princípios espirituais (*rete mirabile*).

Galeno contribuiu para nosso entendimento da medula espinhal com a identificação de 29 pares de nervos espinhais e a demonstração da existência de anastomoses entre esses nervos que propiciariam a contribuição de ramos intactos com os ramos lesados. Segundo Flourens, Galeno foi o primeiro a distinguir claramente os nervos dos tendões, o primeiro a ver a verdadeira origem dos nervos, o primeiro a propor a separação dos nervos da sensibilidade e do movimento. O conhecimento da maneira com que os nervos conduziam sensibilidade e colocavam os músculos em movimento não era conhecida e Galeno ainda não conseguia diferenciar as funções das radículas motoras e sensitivas e sua divisão em ventral e dorsal, sendo que, em seu entendimento, o gânglio posterior estava presente em um nervo para

momentos em que uma grande força motora fosse requerida. No entanto, há relatos de que Galeno desencorajou seus estudantes de realizar ilustrações. Galeno fez muitas importantes descobertas, como distinguir as veias das artérias, o sangue venoso do arterial, a produção de urina pelos rins e demonstrou que a laringe é responsável pela voz. Ainda descreveu o corpo caloso, sistema ventricular, fórnix, tecto do mesencéfalo, pineal e hipófise.^{56,58}

Na Idade Média, houve um período de silêncio no qual a prática neuroanatômica foi proibida e ignorada em virtude de questões religiosas, mas, por 1000 anos, os ensinamentos de Galeno foram utilizados. Um cientista e físico mulçumano persa, Avicena, em torno do ano 1020, escreveu uma enciclopédia médica, O Cânone da Medicina, de 14 volumes que se baseava em uma combinação de sua própria experiência pessoal, de medicina islâmica medieval, dos escritos de Galeno, bem como da antiga medicina persa e árabe.⁵⁹ O Cânone é considerado um dos livros mais famosos da história da medicina e foi uma autoridade da medicina até o século XVIII. Entretanto, não houve uma preocupação com a ilustração da anatomia.⁵⁹

Após esse período, a dissecação do corpo humano foi revivida e vários nomes se destacaram na anatomia prática. Mondino de'Luzzi (Ca. 1275-1326) estudou medicina na Universidade de Bolongna, realizou dissecação em cadáveres humanos de criminosos e escreveu um manual de dissecação, *Anatomia Mondini*, também conhecido como *De Anatome*, finalizado em 1316, trabalho utilizado como guia para o ensino da anatomia por mais de 200 anos. No entanto, *Anatomia Mondini* não apresentava figuras do cérebro para ilustrar ou explicar o texto.^{60,61}

As estruturas cerebrais, no período medieval, foram representadas por desenhos e pinturas sem a preocupação de ser realístico ou de representar a verdadeira forma do cérebro. As ilustrações foram construídas utilizando-se de diagramas esquemáticos, bidimensionais, os quais retratavam funções cerebrais diversas, deixando evidente que o conceito anatômico era incompleto. Funções como: visão, olfato, audição, gustação, a alma e as funções mentais eram projetadas para células, os ventrículos laterais, desenhados sem qualquer intenção de expressar a realidade da estrutura anatômica verdadeira (Figura 4).⁶²

Figura 4 - Diagramas esquemáticos com ilustrações medievais da doutrina celular da função cerebral. Observa-se que não há qualquer preocupação em representar o cérebro de forma realista e com perspectiva. A- Ilustração de Hieronymus Brunschwig (1512) na obra *Liber de arte distillandi de compositis* B- Ilustração de Johannes Peyligk (1499) em *Compendium Philosophiae Naturalis*. C- Ilustração de Mathias Qualle (1510) em *Philosophie Naturalis cum Commentariis*.

Fonte: Cavalcanti et al. (2009).

Guido da Vigevano (1280-1349) foi um médico italiano, aluno de Mondino de Luzzi, que viveu entre os séculos 13 e 14.⁶⁰ Ele realizou dissecação em cadáveres e, a partir de seu manuscrito *Anathomia*, foi o primeiro cientista que usou quadros para ilustrar suas descrições anatômicas, sendo pioneiro no desenvolvimento da proximidade da relação entre o estudo anatômico e o desenho artístico. Em sua obra *Anathomia*, ele representa técnicas de trepanação, faz uma descrição das meninges, cérebro e medula. Na sua pintura do cérebro, observa-se na superfície um discreto padrão de circunvoluções cerebrais e os ventrículos também são representados. As ilustrações são bidimensionais, pouco realistas, compondo uma parte do corpo humano sem um enfoque segmentar (Figura 5).^{60,63}

Figura 5 - Tábulas de anatomia do discípulo de Mondino de luizzi: Guido de Vigevano.

Fonte: Rengachary et al. (2008).

Foram encontrados, em manuscritos medievais, ilustrações do cérebro, realizadas por autor desconhecido, que ilustram um texto de origem em Salerno, os quais datam do ano de 1250 e apresentam o cérebro com giros e sulcos, porém de forma simplista, nutrido por uma rede de vasos vindos do pescoço e região vertebral, lembrando a rede mirabile (Figura 6).⁶² Embora um pouco mais realístico que os diagramas esquemáticos, não há uma preocupação em representar fielmente a estrutura cerebral, mas se aproxima um pouco mais da anatomia real que os diagramas.

Figura 6 - Desenho medieval ilustrando o cérebro e vasos sanguíneos de autor desconhecido (1250).

Fonte: Cavalcanti et al. (2009).

Giotto foi um dos primeiros artistas italianos, já em um contexto que se aproximava do Renascimento, a utilizar-se de métodos algébricos para determinar a distância entre linhas, em seus desenhos. No entanto, tal método, a perspectiva, - que mais tarde seria desenvolvido plenamente por Brunelleschi - possuía deficiências e não retratava fielmente uma sequência de linhas em um determinado campo visual. Uma das primeiras obras de Giotto no qual ele se utiliza desse método foi *Jesus ante Caifás*, permitindo visualizar os personagens em profundidade.

O período da Renascença é marcado pela perda das superstições e medos e por uma grande evolução de várias ciências. Nesse período, destacou-se o arquiteto Filippo Brunelleschi, lembrado como o arquiteto do Domo de Santa Maria de Fiore em Florença e das igrejas de São Lourenço e Santo Espírito, criador da teoria da perspectiva na representação da arte.⁶² A partir do século XV, paralelamente à popularização do papel, o desenho começou a tornar-se o elemento fundamental da criação artística, um instrumento básico para se chegar à obra final (sendo seu domínio quase uma virtude secundária frente às outras formas de arte). Com a descoberta e sistematização da perspectiva, o desenho veio a ser, de fato, uma forma de conhecimento e foi tratado como tal por diversos artistas, entre os quais se destaca Leonardo da Vinci.⁶²

A partir disso, define-se a perspectiva como o método que permite a representação de objetos tridimensionais em superfícies bidimensionais por meio de determinadas regras geométricas de projeção, com imagens que possibilitam a percepção de uma realidade tridimensional se construídas a partir de um conjunto de regras.⁶²

Leonardo Da Vinci (1452-1519) expôs em sua obra "Tratado da Pintura", conhecida tradicionalmente por "Regras de Leonardo", orientações para a construção da perspectiva, e aplicou essa técnica na representação artística de cérebros, sendo o primeiro a combinar experiência de um artista e dissecador com a filosofia da perspectiva para desenhar o cérebro com acurácia. O trabalho de Leonardo representa arte e ciência e pode ter sido o primeiro artista a dissecar o cérebro e ilustrá-lo com perspectiva linear, um sólido com bordas e profundidades. Nesse período, seus desenhos foram os primeiros passos para

as ilustrações mais realísticas do cérebro humano e iniciaram uma revolução na comunicação, a imagem começou, então, a substituir os textos que predominavam até o século XVI.^{64,65}

Figura 7 - Ilustrações de Leonardo Da Vinci. A e B - Desenhos do encéfalo, nervos cranianos e ventrículos cerebrais ainda representando em parte a teoria das células. A face tem características mais realísticas que o sistema nervoso. B - Desenho dos ventrículos laterais, terceiro e quarto ventrículo com percepção de profundidade e realismo na correlação com estruturas vizinhas. Fonte: Neurosurg Focus 27 (3):E2, 2009. C - Capa da obra "Tratado da Pintura" onde Leonardo Da Vinci aborda as regras para o desenho com perspectiva.

Fonte: <http://www.drawingsofleonardo.org/images/brainphysiology.jpg>

Johann Dryander, médico alemão, considerado o primeiro autor a publicar um livro com as ilustrações de suas dissecações. Em 1536, publicou sua obra *Anatomia Capites Humani* com ilustrações que retratam o conflito da transição entre os desenhos da doutrina medieval, a teoria das células do cérebro, com total despreocupação com a representação realística do cérebro, e a visão moderna em que o autor apresenta figuras que representam as estruturas intracranianas de forma realística, uma inovação para a época, como é observada pelo autor na dissecação: as meninges, o cérebro, os ventrículos e o crânio (Figura 8).⁶⁶

Figura 8 - Ilustrações da obra de Johann Dryander, *Anatomia Capites Humani*, publicada em 1536. A - Ilustração com o título: *Universalis Figura Humani Capitis que retrata a transição da ilustração conforme o período medieval, sem compromisso em retratar a estrutura anatômica*. B - Ilustração com o título: *Humani Capitis Figura nona*. Representa o cérebro de forma realista conforme dissecação realizada pelo autor. C e D - Dissecações realizadas pelo autor, mostrando a base do crânio.

Fonte: www.historyinformation.com/index.php?id=2225

Em 1543, Andreas Vesalius (1514–1564), reconhecido como o maior anatomista da Renascença, defensor da dissecação pelo anatomista e não pelo barbeiro, corrige erros da anatomia galênica e de outros anatomistas da época.⁶⁶ Em sua obra *“De Humani Corporis Fabrica Libri Septem”*, primeiro publicada em 1543, Vesalius utilizou artistas envolvidos com a dissecação que, com a sua participação, conseguiram pela primeira vez unir ciência e arte para juntos construírem ilustrações realmente inovadoras e coerentes com a realidade do cérebro (Figura 9).⁶⁶

Figura 9 - Ilustrações da obra de Andreas Vesalius "*De Humani Corporis Fabrica Libri Septem*", primeiramente publicada em 1543. A - Primeira ilustração da base do cérebro, com somente 7 pares de nervos cranianos. B a D – Sequência de ilustrações do crânio e cérebro humano, mostrando maior detalhe na apresentação das estruturas intracranianas.

Fonte: http://cisne.sim.ucm.es/search*spi/o?SEARCH=x531926671; Ellis e Lo (2010).

Observamos que a arte e a ciência avançaram dentro de um contexto cultural em que a dissecação era valorizada e apenas por meio dela podia-se chegar ao conhecimento real e permitir que o artista expressasse a visão do cientista. Muitas vezes, o cientista tornava-se artista para divulgar os seus achados e torná-los perceptíveis e inteligíveis. Vesalius nos mostra as dificuldades para obtenção de material para dissecação e descreve o melhor método de se obter material anatômico suficiente para seus exames: cabeças de homens decapitados, uma vez que elas podem ser obtidas frescas, imediatamente após a execução, com a ajuda amiga dos juízes e prefeitos.⁶²

Em 1600, Thomas Willis, autor do livro "*Pathologiae Cerebri*" publicado em 1664, apresentou excelentes ilustrações que permitiam um conceito de localização de algumas funções cerebrais: senso comum, imaginação e memória, localizadas respectivamente no corpo estriado, corpo caloso e córtex cerebral.⁶⁷ Sua obra "*De Cerebri Anatome*" (1666), contém ilustrações realizadas por Christopher Wren, com grande riqueza no desenho em perspectiva e ilustrando maior número de estruturas, como os nervos cranianos e os vasos da base do encéfalo (Figura 10). Seu nome é usualmente associado ao círculo de Willis, mas ele também foi o responsável pela criação da descrição neuroanatômica básica e sua nomenclatura.⁶⁸ Sua obra incluiu

também a figura clássica do polígono de Willis, rompendo para sempre com a ideia galênica da “rete mirabile”.

Para Willis, o centro do movimento voluntário e da memória se aloja no cérebro, do movimento involuntário no cerebelo, da imaginação no corpo caloso e da sensibilidade e senso comum no corpo estriado, deixando claro que foi um pioneiro em uma abordagem sistemática da função cerebral e da representação estrutural da localização da função cerebral fora dos ventrículos. Seus conceitos estavam se aproximando do real, porém o conhecimento ainda era extremamente empírico. Willis mostra-se partidário da chamada teoria dos espíritos animais que se formam no cérebro mediante destilação a partir do sangue arterial e, a partir dos nervos, descem aos territórios de ação como os agentes da sensação e do movimento.^{67,68}

Figura 10 - Ilustração na obra de Thomas Willis, *Cerebri Anatome*, mostrando a face basal do encéfalo

Fonte: Ellis e Lo (2010).

Após Willis, a combinação de anatomia e ilustração do cérebro ficou estagnada até o final do século XVIII. Félix Vicq d'Azyr (1748–1794), utilizando princípios de pesquisa cristalográfica para o estudo do cérebro, advogou uma padronização da nomenclatura para as estruturas nervosas, e conseguiu, por meio de técnicas de fixação e preservação de encéfalos, aperfeiçoar a

dissecação e ilustração de fibras brancas. Pierre (ou Petrus) Camper (1722–1789) e Samuel Thomas Soemmerring (1755–1830) também foram importantes, pois introduziram o objetivo de aplicar precisão, inclusive na ilustração, para o estudo da anatomia comparativa. Samuel Thomas Soemmerring foi um dos mais experientes e renomados neuroanatomistas do século XVIII. Além da sua descrição do tronco encefálico e classificação dos 12 nervos cranianos, também trabalhou com metafísica e criou a teoria de que a alma localiza-se no ventrículo e tem contato com os nervos do corpo. O seu estudo foi alinhado com o estudo de Vicq d'Azyr e consistia no interesse de dividir o corpo em partes acessíveis ao estudo. Sua grande obra foi publicada em 1796: *Über der Organ der Seele*. Samuel Thomas Soemmerring realizou ilustrações do cérebro humano com clareza e acurácia (Figura 11).⁶⁹

Figura 11 - Ilustração descrevendo a base do cérebro humano feito por Samuel Thomas Soemmerring em sua obra *Über der Organ der Seele* (1799). Observa-se a clareza e acurácia na representação das estruturas.

Fonte: Hildebrand (2005).

Nos séculos XVIII e XIX, a localização cerebral, forma e função, são representadas nos trabalhos de Franz Joseph Gall (1758–1828) and Johann Caspar Spurzheim (1776–1832). Talvez o epítome da ilustração cerebral durante o período da razão (*enlightment*) foi o trabalho de Charles Bell (1774–1842), que era cirurgião e artista e mudou a produção artística com ilustrações mais realísticas em seções de aconselhamentos. Charles Bell utilizou cores em suas ilustrações, diferenciando as artérias das veias e essas das demais

estruturas cerebrais (Figura 12).⁷⁰ O papel da cor nas ilustrações, quando comparado ao preto e branco, é de localizar áreas de interesse, realçar diferenças, tornar mais atrativa a ilustração e facilitar a visualização.⁷⁰

Figura 12 - Ilustrações utilizando cores na obra de Charles Bell (1802). A - Observa-se uma secção axial do encéfalo humano, demonstrando a anatomia do ventrículo lateral e fórnix. B - Observa-se a face medial do encéfalo humano com cores vermelhas para artéria, azul para veias e a cor do parênquima contrastando.

Fonte: Schott (2010).

No século XX, destacou-se o artista e médico Frank Henry Netter, nascido em Manhattan, Nova York, onde estudou arte e iniciou sua carreira comercial no *Saturday Evening Post* e no *The New York Times*. Após o início de sua carreira artística, Netter resolve estudar medicina completando sua formação na New York University. Suas ilustrações inicialmente eram distribuídas aos médicos em cartões ou fôlderes, até que em 1989, foi publicado o Atlas de Anatomia Humana que se encontra na 5ª edição, publicada em 2011 e enriquecida com a tecnologia dos recursos multimídia e realidade virtual, com ilustrações tridimensionais em CD ROM.¹⁶

As contribuições para a neuroanatomia durante o século XX foram surpreendentes no que diz respeito à anatomia aplicada à neurocirurgia e, principalmente, à anatomia microcirúrgica. Com o objetivo de divulgar suas técnicas cirúrgicas, tornar acessível a todos as vias de acesso às mais diversas

regiões do encéfalo, o conhecimento anatômico e as ilustrações agora se voltam para a prática neurocirúrgica.

Vários estudos foram realizados, descrevendo a anatomia aplicada à neurocirurgia, abordando os mais diversos temas como vias de acesso, craniotomias, anatomia de estruturas aplicadas à técnica cirúrgica como o lobo temporal, ínsula, vasos cerebrais, substância branca cerebral, além de estudos buscando a correlação da superfície cerebral com as estruturas anatômicas e dessas com os exames de imagem. Nos dias atuais, destaca-se M. Gazi Yazargil que, em seu livro, *Microneurosurgery*, com o apoio de profissionais de um departamento de fotografia e artes, ilustra as estruturas anatômicas com atenção ao aspecto cirúrgico.⁷¹

Na atualidade, também se destaca Albert L. Rhoton Júnior.⁷¹ Graduado em medicina em 1959, fez internato na Columbia Presbyterian Medical Center em Nova York e seu treinamento como neurocirurgião na Washington University Medical School onde havia se graduado, completando a residência em 1965. Após completar seu treinamento, doutor Rhoton trabalhou na Mayo Clinic em Rochester, Minnesota até 1972, onde se tornou professor e chefe do departamento de Neurocirurgia da Universidade da Flórida. Rhoton publicou mais de 250 artigos e um livro, *Cranial Anatomy and Surgical Approaches*, onde constam fotografias das dissecações de seus estagiários, se preocupando com a relação entre as estruturas, detalhes morfométricos e a visão dessas estruturas conforme diversas abordagens e acessos cirúrgicos, utilizando técnicas neuroanatômicas (fixação, injeção vascular, coloração para substância cinzenta, dissecação de substância branca), promovendo uma excelente qualidade visual das imagens dos espécimes preparados em seu laboratório.¹⁹

Nos últimos anos, têm-se acrescentado nas técnicas de representação do cérebro as imagens fotográficas estereoscópicas, imagens de computação gráfica e a realidade virtual. A representação da neuroanatomia iniciou-se com a linguagem verbal, evolui na história através da linguagem escrita, segue pela representação por meio da arte e dos desenhos, por meio da imagem (linguagem visual) e, recentemente, dá-se por meio de recursos da tecnologia de computação gráfica e realidade virtual que vêm ocupando importante espaço no ensino da neuroanatomia - temas que serão abordados nos dois

próximos tópicos para que possamos contextualizar o recurso didático, criado neste estudo.

3.2 Ensino da neuroanatomia

Ao longo dos anos, o tempo dedicado ao ensino da anatomia nos cursos de graduação tem-se reduzido paulatinamente. Nos primórdios da educação médica americana, a anatomia ocupava em torno de um quinto do currículo médico e contava com mais de 800 horas distribuídas entre aulas teóricas tradicionais (exposição do conteúdo pelo professor e participação passiva do aluno no processo de aprendizado) e dissecação em laboratório de anatomia macroscópica.⁷¹⁻⁷⁴

Flexener em 1910 introduziu um modelo de educação caracterizado por separação entre os estudos pré-clínicos (ciência básica) e os clínicos, os quais foram divididos em compartimentos independentes e sem integração.⁷⁵ Entendia-se nessa época que o estudante não poderia ter acesso ao doente se o aluno não estivesse se preparado na ciência básica. Novas disciplinas foram criadas, fortalecendo a importância da ciência básica, mesmo assim houve uma redução do tempo dedicado à ciência anatômica. A American Association of Medical Colleges (AAMC) recomendou que o tempo empregado para a anatomia fosse restrito a um intervalo de 471 a 814 horas.^{74,76}

Em 1927, Zapffe propôs o currículo integrado, baseado em publicação da AAMC, no qual o ensino da anatomia foi verticalmente integrado nos quatro anos do currículo médico e restrito a 566 horas. O currículo integrado distribuía no primeiro ano a anatomia macroscópica, no segundo, a anatomia topográfica e no terceiro e quarto, a anatomia clínica associada à medicina e cirurgia.⁷⁷ Essa inovação não foi largamente aceita e, em 1931, Reid demonstrou que a média de tempo dedicado ao ensino da anatomia era ainda em torno de 780 horas.⁷⁶

O período entre 1930 e 1980 pode ser considerado como um desconfortável *status quo*. Durante esse tempo, houve uma gradual redução do número de horas de aula, os métodos de ensino tradicionais continuaram a prevalecer, utilizando-se do formato passivo baseado em aulas teóricas, a

instrução da ciência básica não considerava a relevância do contexto clínico e qualquer integração com a clínica causava discordância e insatisfação entre os professores pré-clínicos e os estudantes.^{78,79}

Nos anos oitenta, foi proposta uma reforma no treinamento médico que deveria ser integrado e dirigido para o doente.⁸⁰ As principais críticas no currículo médico em 1980 foram referentes à supervalorização do aprendizado por memorização, número insuficiente de exercícios em análise e conceptualização e falha em associar os aspectos básicos com os clínicos durante o treinamento. A reforma acontecida nessa época adotou o aprendizado baseado em discussão de casos clínicos e em resolução de problemas o que levou a uma redução do tempo dedicado à instrução anatômica *per se*. Nessa mesma época, instituiu-se o apoio da computação no processo de aprendizado e a informática biomédica começa a ocupar, a passos largos, grande espaço anteriormente dedicado ao cadáver e à dissecação.⁸¹

Efetivamente nos anos 90, ocorreu uma lenta mudança nos currículos médicos: de uma abordagem convencional, baseada no indivíduo, para uma abordagem integrada e multi-individual.^{82,83} O ensino das ciências básicas, nos anos noventa, não deveria incluir apenas fatos e princípios aplicados ao corpo humano, mas também aqueles relevantes ao comportamento e aos aspectos sociais da saúde e da doença.^{84,85,86}

Atualmente há tentativas de novas reformas curriculares que incluem a redução das horas de laboratório e dissecação semanal, aumento da integração entre ciência básica e clínica nos anos iniciais da formação médica, além da utilização dos avanços eletrônicos e tecnológicos disponíveis. No lugar de cursos baseados em disciplinas tradicionais, o movimento é de cursos de ciências interdisciplinares e a integração da ciência básica com os cursos clínicos.⁸⁷ No lugar do ensino baseado na aula teórica, a tendência atual sugere o uso de formas como o ensino em grupo⁸⁸, interativos⁸⁹, baseados em resolução de problemas e casos clínicos.^{90,91} No entanto, essas modificações reduziram significativamente o tempo que o estudante poderia se dedicar ao estudo da anatomia e a dissecação.

Em 1992, um estudo realizado pela Sociedade Britânica e Irlandesa de Anatomia sobre a opinião de 33 escolas médicas quanto ao número total de

horas dedicadas ao ensino da neuroanatomia, obteve uma média de 41 horas dedicadas à neuroanatomia dentro de uma carga total de 350 horas da anatomia geral. Quando questionados sobre a melhor abordagem para ensinar, as opiniões foram dissecação, estudo de partes já dissecadas e cortes cerebrais associados ao exame de imagem, sendo que 50% referiram-se às três abordagens. Quando questionados sobre a ligação entre a anatomia e a clínica, neuroanatomia foi a área em que os aspectos básicos poderiam ser aplicados aos clínicos, incluindo sugestões de aulas e apresentação de casos aplicados por neurologistas ilustrando o efeito das lesões de vários níveis do sistema nervoso e exercícios no papel.⁹²

Em 2009, Drake e colaboradores documentaram uma enorme variação no total de horas dedicadas à anatomia macroscópica, microscópica, embriologia e neuroanatomia nas escolas médicas dos Estados Unidos e compararam com os dados obtidos de 2002 pelos mesmos autores, sendo observado que a disciplina de neuroanatomia apresentava a maior queda, com média total de 79 horas, enquanto em estudos anteriores eram de 96 horas, o que representa 18% do total de horas da disciplina, o que pode estar relacionado principalmente à redução da carga horária de laboratório.⁹³ Encontraram também um aumento do número de cursos de anatomia virtual microscópica, evidência da maior utilização de recursos eletrônicos e tecnológicos e de transformações nos laboratórios e no ensino da ciência anatômica.⁹³ Adicionalmente, nesse mesmo período, diferentes ferramentas de apoio ao ensino e técnicas de educação foram introduzidas como, por exemplo, vídeos educacionais⁹⁴ e apresentações animadas, disponibilizadas na *internet*.⁹⁵ Mahmud e colaboradores em 2011 aplicaram vídeos de dissecação dos membros superiores para dois grupos de alunos, e comparou com grupos que não utilizaram o vídeo educativo: concluíram que embora houvesse aprovação dos alunos, o vídeo não promoveu melhora nas notas nos exames finais.⁹⁶

Com enfoque no ensino da neuroanatomia funcional e das vias nervosas, tema tradicionalmente mais complexo para o entendimento dos estudantes, aplicaram-se abordagens técnicas interativas que favoreceram um aprendizado mais ativo e participativo, caracterizado pela utilização de leituras menos

detalhadas, modelos magnéticos das vias neurais, aplicação de problemas práticos e clínicos seguidos da síntese e compreensão crítica do trato nervoso com resultados favoráveis no sentido de melhorar o aprendizado na sala de aula.^{97,98}

Nos últimos anos, programas de computadores multimídia para anatomia foram desenvolvidos com o propósito de facilitar o entendimento e servir de apoio ao ensino tradicional da neuroanatomia.^{37,99-102} Essas ferramentas multimídia permitem aos estudantes rever o conteúdo, de forma interativa, contribuindo para um aprendizado ativo e colaborativo.

Lamperty e Sodicoff, em 1997, desenvolveram um programa de neuroanatomia baseado em computação. Realizaram cortes de encéfalos e peças dissecadas que foram digitalizadas e, utilizando o *software* multimídia *Tool book*, criaram um atlas computadorizado com imagens e seções anatômicas bidimensionais, um programa de estudo e uma seção de resolução de casos clínicos com o intuito de substituir o ensino tradicional. Com o objetivo de conhecer a efetividade dessa ferramenta, eles compararam ao ensino tradicional avaliando o desempenho dos alunos ao longo dos anos por meio de provas escritas e práticas e o programa mostrou ser um método substituto efetivo e uma ferramenta útil para o aprendizado dirigido ao aluno.¹⁰³

Elizondo-Omana e colaboradores, em 2004, compararam o método tradicional de ensino da neuroanatomia utilizando livro texto, um atlas complementar e o material disponível em laboratório (ossos, modelos anatômicos e cadáveres) com o mesmo método acrescido do apoio da computação (apresentações, programas multimídias e atlas interativos comerciais) e seus resultados mostraram diferenças significativas nas médias entre os dois grupos, demonstrando que o ensino com o apoio da computação é uma melhor opção que o método tradicional isolado.¹⁰⁴

Ao longo dos anos, os métodos de ensino da anatomia passaram por três estágios: a simples observação, a dissecação de cadáveres e atualmente o aprendizado assistido por computadores.^{100,105} A utilização da informática médica, o alto custo para manutenção de um laboratório com cadáveres e questões legais e culturais contribuíram para uma maior utilização de recursos multimídias e computacionais e com a crescente redução das dissecações em

cadáveres.^{80,106} Mesmo sem evidências definitivas quanto ao impacto educacional, há universidades que abandonaram por completo a dissecação.²⁶ Há evidências que os grupos de alunos que participam da aula prática com dissecação tem melhor desempenho que aqueles que não participam, mesmo com suporte multimídia com computadores.¹⁰⁷

Na idade da informática médica, autores discutem o papel do cadáver humano e da dissecação não apenas com enfoque da aquisição de um conhecimento realístico e de habilidades, mas enfatizando que o cadáver permite a compreensão do corpo de forma multidimensional, sendo a dissecação real necessária, não apenas para aquisição de habilidades, mas também, para a comunicação moral, ética e humanística nos cuidados com o doente. O aprendizado centrado no cadáver seria um pré-requisito para o treinamento, utilizando a informática biomédica, a qual seria útil para revisar e memorizar conteúdos, correlacionar aspectos estatísticos e dinâmicos da anatomia, observar mudanças funcionais durante uma doença e, quando associada à dissecação, aprimorar a formação do profissional médico baseada no doente.^{2,107,108}

A história da anatomia na Universidade de São Paulo pode ser demonstrada pelo texto de Liberti, “A Escola Anatômica de Afonso Bovero: de onde veio; para onde vai?”¹⁰⁹, que cita professores desta casa e sua colaboração na anatomia. Destacamos o professor Eros Abrantes Erhart com sua obra de neuroanatomia.¹⁰⁹ Liberti descreve a escola anatômica de Alfonso Bovero e suas ramificações pelo país, nas gerações dos discípulos desse grande mestre:

iniciou-se em 1914, com a aula intitulada “Importância e conceito fundamental da Anatomia” ministrada aos 25 de abril, pelo Anatomista italiano Alfonso Bovero, contratado pelo Dr. Arnaldo Augusto Vieira de Carvalho, fundador em 1912, da então Faculdade de Medicina e Cirurgia de São Paulo (a partir de 1934, Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo - FMUSP). Na Anatomia, os principais discípulos da Primeira Geração da sua Escola, em ordem cronológica de entrada na carreira foram os professores João Moreira da Rocha (1916) que em 1933 tornou-se o primeiro Catedrático de Anatomia da Escola Paulista de Medicina (EPM) e, em 1934, o primeiro Catedrático de Anatomia da FOU SP; Renato Locchi (1925), o discípulo dileto de Bovero que, após a sua morte, substituiu-o

na Cátedra de Anatomia da FMUSP; Max de Barros Erhart (1926), Sociedade Brasileira de Anatomia o primeiro Catedrático de Anatomia, em 1934, da Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia da USP (FMVZ/USP), Odorico Machado de Sousa (1935), que assumiu a Cátedra de Anatomia da FMUSP em 1956, após a aposentadoria de Renato Locchi e Olavo Marcondes Calasans (1935) um dos fundadores, juntamente com Odorico Machado de Sousa, do Departamento de Anatomia da PUC de Sorocaba em 1951 e o primeiro professor de Anatomia da Faculdade de Medicina de Jundiaí (1969).

Na Segunda Geração de Anatomistas da USP, os discípulos de Max de Barros Erhart na FMVZ/USP foram Orlando Marques de Paiva (Diretor da FMVZ/USP de 1965 a 1972 e Reitor da USP de 1973 a 1977) e Plínio Pinto e Silva (um dos primeiros professores de Anatomia Veterinária da UNESP de Botucatu em 1962). Os demais, todos eles médicos, oriundos ou da FMUSP ou da EPM - portanto, iniciados na carreira anatômica sob a égide de João Moreira da Rocha ou de Renato Locchi ou de Odorico Machado de Sousa - não restringiram suas atividades somente aos Departamentos de Anatomia da FMUSP ou da FOUSP, mas, a exemplo de Pinto e Silva (e até antes dele), disseminaram os princípios da Escola de Bovero para outras Instituições de Ensino, tornando-se os seus primeiros professores de Anatomia. Cumpre relacionar os seguintes: Saul Goldenberg - Faculdade de Farmácia e Bioquímica da USP (1951) e Faculdade de Medicina de Taubaté (1967); Gerson Novah - Faculdade de Medicina da USP de Ribeirão Preto (1952); Liberato J. A. Di Dio - Universidade Federal de Minas Gerais (1954); Milton Picosse - Faculdade de Odontologia da USP de Bauru (1962); Orlando Jorge Aidar - Faculdade de Medicina da Santa Casa de Misericórdia de São Paulo (1963); João Baptista Parolari - Faculdade de Ciências Médicas da UNICAMP (1963); Octávio Della Serra - Faculdade de Medicina da Universidade de Brasília (1965); Cláudio A. Ferraz de Carvalho - Faculdade de Medicina de Santo Amaro (1969) e José Furlani - Faculdade de Medicina de Catanduva (1970).¹⁰⁹

3.3 Realidade virtual

3.3.1 *Histórico da realidade virtual*

O desenvolvimento tecnológico da realidade virtual teve seu início na década de 50 e tem crescido consideravelmente nos últimos anos. Inicialmente direcionada ao entretenimento e às necessidades das forças armadas americanas, a realidade virtual hoje é utilizada em diversas aplicações médicas como planejamento pré-operatório, assistência, treinamento cirúrgico e ensino.

Um dos grandes desafios para o futuro é oferecer sistemas que reproduzam exatamente aquilo que o médico vê e sente na realidade não virtual e que permita simulação em tempo real.

A realidade virtual iniciou-se com os simuladores de vôo construídos pela Força Aérea dos Estados Unidos após a Segunda Guerra Mundial e, na indústria de entretenimento por meio do *Sensorama* (Figura 13), patenteado em 1962 por Morton Heilig, um especialista em multimídia que, combinando estímulos sonoros, mecânicos e olfatórios, permitia a simulação de uma experiência multissensorial com visão estereoscópica: o usuário podia fazer um passeio pré-gravado de motocicleta por Manhattan.¹¹⁰⁻¹¹²

Figura 13 - Protótipo comercial do Sensorama.

Fonte: Pimentel e Teixeira (1995).

Na Universidade de Utah, em meados de 1965, Ivan Sutherland apresentou sua tese de doutorado em que desenvolveu uma caneta óptica para desenhar diretamente na tela de um computador dando o primeiro passo para a criação da computação gráfica interativa e para a criação da realidade virtual.¹¹¹ O mesmo autor desenvolveu o primeiro vídeo-capacete funcional para gráficos de computador o qual permitia ao usuário ver, através da movimentação de sua cabeça, os diferentes lados de uma estrutura de arame na forma de um cubo flutuando no espaço.¹¹¹

Nessa época, Myron Krueger, na Universidade de Wisconsin, iniciou estudos com realidade artificial e, em 1975, desenvolveu o *Videoplace*, onde uma câmera de vídeo era utilizada para filmar os participantes. A imagem bidimensional era projetada em uma grande tela. A interação dos participantes entre si e com os objetos projetados ficou conhecida por Realidade Virtual de Projeção.^{110,111}

Com o intuito de treinar pilotos para voar e lutar, Thomas Furness em 1982 desenvolveu, para a Força Aérea Americana, o Visually Coupled Airborne Systems Simulator - VCASS, conhecido como “Super Cockpit”.¹¹³ Trata-se de um simulador da cabine de um avião que, por meio do uso de computadores e videocapacetes interligados com áudio e vídeo, dotado de alta qualidade de resolução nas imagens e rapidez no trabalho com essas imagens, permitia o aprendizado do piloto com grande liberdade para movimentação (Figura 14).^{111,113}

Figura 14 - Ilustração do capacete do projeto “Super Cockpit” de Tom Furness.

Fonte: Pimentel e Teixeira (1995).

Em 1984, Michael McGreevy, utilizando-se de uma nova tecnologia de visores de cristal líquido (LCD), desenvolveu o projeto Virtual Visual Environment Display (VIVED), na NASA.¹¹⁴ A parte de áudio e vídeo foi montada sobre uma máscara de mergulho, utilizando dois visores de cristal líquido com visualização de imagens estereoscópicas e com pequenos autofalantes acoplados.^{111,112} No ano seguinte, Scott Fisher colabora com esse projeto ao enriquecê-lo com a inclusão de luvas de dados, reconhecimento de voz, síntese de som estéreo e retorno háptico.¹¹³

Thomas Zimmerman e Scott Fisher, em 1985, desenvolveram uma luva de dados denominada *Data Glove*, capaz de captar a movimentação e inclinação dos dedos da mão.^{110,114} No final de 1986, a NASA já possuía um ambiente virtual que permitia interatividade por meio de comandos pela voz, escutar fala sintetizada, ouvir som 3D e manipular objetos virtuais diretamente por meio do movimento das mãos, ou seja, visualização pelo capacete e interatividade com a utilização das luvas.¹¹²

Após essa fase inicial de intensa contribuição das forças aéreas americanas e da NASA no desenvolvimento inicial da realidade virtual, objetivando o treinamento de soldados, o desenvolvimento de sistemas de realidade virtual tomou rumos em direção ao comércio e pesquisas em diferentes empresas governamentais e privadas, fato ocorrido no mundo inteiro.¹¹² Organizações, de firmas de *software* até grandes corporações de informática, começaram a desenvolver e vender produtos e serviços ligados à realidade virtual.¹¹⁰ Em 1989, a AutoDesk apresentava o primeiro sistema de realidade virtual baseado num computador pessoal.¹¹⁰

Dessa forma, a realidade virtual consolidou-se na década de 90 e, no Brasil, tem sido aplicada em exploração de petróleo, indústria aeronáutica, automobilística, por universidades e centros de pesquisa. Foi constituída uma comissão para organização da área acadêmica ligada à realidade virtual com o intuito de alavancar o desenvolvimento da realidade virtual no Brasil: Comissão Especial de Realidade Virtual-CERV. O CNPq apoiou simpósios em realidade virtual e a uma revisão da evolução da realidade virtual no Brasil foi publicada e

consta no registro dos principais acontecimentos da realidade virtual do país até o ano de 2008.¹¹⁵

3.3.2 Conceito de realidade virtual

É creditado a Jaron Lanier, músico e cientista da computação, ser o primeiro a utilizar, nos anos 80, o termo realidade virtual com o intuito de distinguir as simulações tradicionais da computação dos mundos digitais que ele tentava criar.¹¹⁴

Pimentel e Teixeira definem realidade virtual como o uso da alta tecnologia para convencer o usuário de que ele está em outra realidade - um novo meio de “estar” e “tocar” em informações: “Virtual Reality is the place where humans and computers make contact”.¹¹² Latta e Oberg citam Realidade Virtual como uma avançada interface homem-máquina que simula um ambiente realístico e permite que participantes interajam com ele: “Virtual Reality involves the creation and experience of environments”.¹¹⁶

Em geral, o termo Realidade Virtual refere-se a uma experiência imersiva e interativa baseada em imagens gráficas 3D geradas em tempo real por computador.¹¹² O principal objetivo dessa nova tecnologia é fazer com que o participante desfrute de uma sensação de presença no mundo virtual.¹¹⁰ Para propiciar essa sensação de presença, o sistema de realidade virtual integra sofisticados dispositivos. Esses dispositivos podem ser luvas de dados, óculos, capacetes, entre outros.¹¹¹

Segundo Machado, Campos, Cunha e Moares, realidade virtual é uma área de pesquisa que reúne conhecimentos de várias áreas como eletrônica, computação, robótica, física, psicologia, dentre outras.³¹

3.3.3 Formas de realidade virtual

Duas características utilizadas para diferenciar os sistemas de realidade virtual são a capacidade de imersão e de interatividade. A imersão pelo seu poder de prender a atenção do usuário, e a interatividade no que diz respeito à comunicação usuário-sistema.¹¹² Pimentel e Teixeira, considerando nível de

imersão e de interatividade do usuário, classificam as formas de realidade virtual como: realidade virtual de Simulação (permite que o usuário se sinta no mundo virtual), de Projeção (o usuário está fora do mundo virtual, mas pode comunicar-se com esse), Augmented Reality (Realidade Realçada, em que há combinação de imagens do mundo real com o virtual), Telepresença (por exemplo o uso da endoscopia em pacientes utilizados na medicina), Visually Coupled Displays (“Displays Visualmente Casados”) e realidade de Mesa. Pimentel e Teixeira vêem a realidade virtual de Mesa como um subconjunto dos sistemas tradicionais.¹¹² Em vez do uso de *head-mounted displays* (HMDs), são utilizados grandes monitores ou algum sistema de projeção para apresentação do mundo virtual. Alguns sistemas permitem ao usuário ver imagens 3D no monitor através do uso de óculos *lightweight* (baixo peso) ou obturadores de cristal líquido (LCD).¹¹¹

3.3.4 Estereoscopia

Estereoscopia é a ciência e arte que trabalha com imagens para produzir um modelo visual tridimensional com características análogas às características da mesma imagem quando vista através da visão binocular real.¹¹¹

O ser humano visualiza o ambiente e os objetos ao seu entorno em profundidade ou em três dimensões. Isso é possível porque somos dotados de uma visão binocular, que surgiu no processo evolutivo quando os olhos dos animais se posicionaram na frente da cabeça. Os olhos do ser humano estão separados em média por uma distância de 64 mm, por isso cada olho enxerga o mundo de uma maneira ligeiramente diferente um do outro. O sistema de visão binocular nos permite calcular com boa exatidão a que distância um objeto se encontra de nós e se múltiplos objetos estão mais próximos ou mais distantes. As ondas de luz penetram no olho e alcançam os fotorreceptores na retina, ativando células que enviam informações ao cérebro, as quais ativarão células que permitem a percepção da forma, cor, profundidade e movimento do objeto. Isso ocorre em áreas denominadas de córtex visual secundário e córtex de associação, nos lobos temporal e parietal. O cérebro, dessa forma, ajusta

essas duas imagens, fazendo com que o ser humano seja capaz de perceber o mundo em profundidade.^{110,117}

Nos últimos anos, as tecnologias digitais evoluíram ao ponto de imitar a visão humana estereoscópica. Atualmente pode-se obter o efeito da estereoscopia através de dispositivo e técnicas artificiais. Essas tecnologias têm o intuito de tornar a imagem mais realista, por meio da obtenção do senso de profundidade. As imagens 3D computadorizadas estereoscópicas dão a noção de profundidade e parecem flutuar no espaço diante da superfície na qual são apresentadas.¹¹⁰ Nas imagens estereoscópicas, a quantidade de paralaxe, distância entre imagens esquerda e direita, determina a distância aparente dos objetos virtuais em relação ao observador. O cérebro reúne as duas imagens em uma, sendo que essa parece ter características de profundidade, distância, posição e tamanho. Uma paralaxe menor, por exemplo, resulta na ilusão de que o objeto está distante.¹¹⁰

O primeiro passo na criação de uma imagem estereoscópica é a construção de um par de imagens, isto é, as imagens direita e esquerda do mesmo objeto são captadas em diferentes ângulos de visão. Utiliza-se, tradicionalmente, de uma câmara fotográfica que é deslocada ao longo de uma barra deslizante ou trilho, por meio de um eixo paralelo, obtendo-se uma primeira imagem no ponto inicial e a última no ponto final.¹¹⁸ Esse procedimento é análogo à captação da imagem pela pupila direita e esquerda. A distância de deslocamento da câmara na barra relaciona-se à distância em que o objeto se encontra da câmara, de tal sorte que, quanto mais distante o objeto do usuário maior o deslocamento necessário para a visualização estereoscópica e, quanto mais próximo o objeto da câmara, menor a necessidade de deslocamento. Outra forma é denominada captação em eixo convergente, em que o autor desloca a câmara no eixo paralelo sobre o trilho, roda a câmara em torno de 30° de convergência, focando um ponto previamente determinado. Na configuração de câmeras convergentes, ocorre um efeito indesejado devido ao deslocamento vertical (paralaxe vertical) dos pontos das imagens esquerda e direita, sendo uma fonte de desconforto para o observador.¹¹⁸

Quanto à distância de deslocamento da câmara no trilho, existe uma regra matemática que orienta deslocar a máquina fotográfica, para direita e

esquerda, por uma distância igual a $1/30$ da distância entre a câmara e o objeto, embora os recursos dos softwares mais modernos permitam deslocar essas imagens no sentido de aproximá-las ou afastá-las, melhorando a qualidade da visão.^{5,31}

Para a obtenção do estereopar com o microscópio cirúrgico, há serviços que utilizam o deslocamento do microscópio para fazer a varredura da área a ser visualizada, com as câmaras fotográficas adaptadas aos canais de visualização do microscópio, alinhadas conforme um ponto de referência no espécime, prevenindo distorções ou piora na qualidade do par estereoscópico (estereopar).^{2,19-21} Outra forma de aquisição de estereopares é com a utilização de máquinas fabricadas para fotografias tridimensionais, as quais já disponibilizam duas objetivas, com uma distância entre elas próximo da distância interpupilar.

Em realidade virtual, a visão estereoscópica é um importante fator na determinação do nível de imersão do sistema.^{112,118} No entanto, deve-se levar em conta que, na maioria dos sistemas, exibir imagem separada para olho esquerdo e direito exige do *hardware* o dobro de potência de processamento de imagem.¹¹⁰ Há vários *softwares* disponíveis no mercado e de fácil acesso via *internet* que permitem a construção de estereopares e seu armazenamento para utilização em uma de suas diversas modalidades. Esses softwares trabalham com sistemas de linguagens diversos como o *Windows*, *Macintosh*, *DOS*, *Flash*, *Java* e *Linux*, disponibilizados comercialmente.

Um editor e visor de imagens estereoscópicas versátil é o *Stereo Photo Maker* que pode funcionar em todas as versões do *Windows* após o *Vista* e *Macs*; permite ao usuário criar paginas na *internet* e seu *download* é gratuito. Realizamos um levantamento dos endereços de *home page* referentes a *softwares* que trabalham com imagens estereoscópicas: Create Stereograms on your PC, Fractint (Versão 20) <http://spanky.triumf.ca/www/fractint/FRACTINT.html>; OneEyeStereo, <http://www.proggies2go.org/pages/oedemo/oedemo.html>; Wiggle Stereoscopic Viewer, http://sourceforge.net/project/showfiles.php?group_id=109131; AnaBuilder (Version 2.47.0), <http://anabuilder.free.fr/welcomeEN.html>; Stereomerge Version

1.064, http://www.stereomerge.com/mw/index.php/Welcome_to_Stereomerge; Stereoscope Applet Version 2.2 beta, <http://www.stereofoto.de/sapplet>; KMovisto (Version 0.6.1), <http://mitglied.lycos.de/PageOfMH/index.html>; Plascolin, <http://www.schrammel.org/stereo-plascolin.php>; SIV, <http://www.mygnu.de/index.php/siv-a-stereoscopic-jps-viewer-for-linux>; Split MPO StereoPress (Versão 1.4.0-E), http://www2.pair.com/~shuono/tools/stereo_tool_e.shtml; StereoSplicer (Versão Beta 6), http://web.me.com/ijunji/Challenge!_REAL_3D_and_Mac_E/StereoSplicer.html; Callipygian 3D Photo Editing Software (Versão 2.9), <http://www.callipygian.com/3D>; Woolly Anaglyph Maker (Versão 1.2.1), <http://www.somerset3d.co.uk/wam.htm>; Z-Anaglyph (Versão 1.5.3), http://z-graphix.com/anaglyph/zanag_en.htm.

A visão estereoscópica pode ser obtida de forma indireta de 5 maneiras diferentes: estereoscopia voluntária, por anáglifo, por polarização da luz, por luz intermitente e por holografia.¹¹⁸ Nos quatro primeiros processos, cada um dos olhos do observador verá uma imagem diferente de um mesmo objeto e seu cérebro as fundirá em uma única imagem 3D. No processo por holografia a cena em 3D é registrada numa única imagem, não havendo a necessidade de um par estereoscópico, e por esta razão considerada, por alguns autores, uma forma não estereoscópica de apresentação da imagem tridimensional.¹¹⁸

Anáglifo é o nome dado a figuras planas cujo relevo se obtém por cores complementares, normalmente vermelho e verde ou vermelho e azul esverdeado. Nesse caso, cada um dos olhos utilizará um filtro diferente para visualizar as imagens do par estereoscópico: o olho que estiver com o filtro vermelho refletirá apenas a cor vermelha e o olho que estiver com o filtro verde/azul refletirá apenas a imagem verde/azul. Assim, as duas imagens são separadas na observação e fundidas em uma única imagem 3D preto e branco.^{43,119} As projeções com o método anaglífico são feitas a partir de uma única imagem constituída pela fusão das imagens direita e esquerda em telas comuns, requerendo apenas o uso de óculos com os filtros coloridos, e essa imagem tem como principais limitações a reprodução de cores já mencionada e a consequente menor luminosidade, fatos que comprometem a qualidade final

da imagem, mas não limita a produção do efeito 3D estereoscópico (Figura 15).⁴⁴

Figura 15 - Ilustração da projeção e visualização de uma imagem estereoscópica em anáglifo vermelho/azul. Lentes azul e vermelha filtram as duas imagens projetadas, permitindo que apenas uma delas alcance cada olho.

No processo de estereoscopia por luz polarizada, são utilizados filtros polarizadores que fazem com que a projeção das imagens do par estereoscópico sejam polarizadas em planos ortogonais (por exemplo um plano vertical e um horizontal). Dessa forma, o observador utiliza filtros polaróides ortogonais correspondentes a planos de projeção e vê com cada olho apenas uma das imagens projetadas. Da fusão das imagens vistas por cada olho, resultará a visão estereoscópica. Na prática as imagens armazenadas em um computador são transferidas por uma placa de vídeo dual, que permite exibir imagens para dois monitores ao mesmo tempo, através de duas saídas de vídeo até dois projetores. Aos dois projetores conectam-se dois filtros polarizadores que irão direcionar a luz à tela. Para que não cause a sua

despolarização, usam-se telas metalizadas, que irão refletir a luz polarizada aos óculos com lentes polarizadas, fazendo com que cada olho veja apenas um sentido de polarização (Figura 16).¹¹⁸

Figura 16 - Os óculos polarizados permitem apenas uma das imagens em cada olho, porque cada lente tem uma polarização diferente.

No processo de Estereoscopia por Luz Intermitente, ou campos sequenciais alternados (*field sequential technique*), as imagens são projetadas alternadamente para cada olho a um intervalo de 1/20 a 1/60 segundos, de modo que cada olho possa ver apenas uma imagem. Assim, o observador não perceberá a alternância das imagens e verá uma única imagem 3D. Uma grande vantagem desse processo sobre o processo por anáglifos é a qualidade das imagens coloridas. Para a visualização estereoscópica em campos sequenciais faz-se necessário um óculos denominado de cristal líquido, que funciona como um obturador, abrindo e fechando conforme o estereograma direito ou esquerdo enviado. O controle para a sincronia entre o gerador da imagem (Ex.: Tela de uma TV Digital 3D) e o óculos é feito comumente através de sinalização de raios infravermelho.^{43,44,118}

A holografia, inventada em 1947 pelo físico Denis Gabor, não se utiliza de um par de imagens estereoscópicas, uma vez que a holografia é uma técnica que registra em filme a informação relativa a um objeto ou cena; diferente da estereoscopia que é a cópia da realidade através da fotografia, a holografia representa a realidade através de uma criação do ambiente visível de qualquer perspectiva de observação, não se restringindo àquele visualizado no espaço real capturado pelos outros sistemas. A holografia capta as informações de uma imagem tridimensional, incluindo profundidade, e as grava também em 3D.¹¹⁸

3.3.5 Criação de realidade virtual

Para a criação de um mundo virtual interativo, é necessário criar um ambiente e habilitá-lo com objetos e características virtuais.¹¹⁰ O aplicativo de realidade virtual é uma simulação animada que permite definir e exibir um objeto 3D, alterar seu ponto de referência e campo de visão, manipular e interagir com os objetos e fazer com que esses objetos afetem uns aos outros.¹¹⁰ O *software* de realidade virtual permite permear objetos com comportamentos (propriedades físicas) e programá-los para ativar algum tipo de *feedback* visual, auditivo ou tátil quando um evento específico acontece, além de gerenciar toda a sequência de eventos. A maioria dos sistemas de construção de mundos virtuais compartilha alguns conceitos básicos que caracterizam o desenvolvimento da realidade virtual e que permitem aos desenvolvedores a criação de uma simulação bastante realística.¹¹¹ Segundo Jacobson, esses conceitos básicos poderiam ser: o universo e seus objetos, técnicas de apresentação e dinâmicas e *feedback*.¹¹⁰

Além de compartilharem os conceitos acima citados, os *softwares* para criação de realidade virtual também costumam oferecer recursos para determinados tipos de dispositivos de interação, permitindo programá-los para ativar algum tipo de *feedback* visual, auditivo ou tátil.¹¹⁰

3.3.6 Aplicações da realidade virtual na neuroanatomia e na neurocirurgia

Especificamente na neurocirurgia, vários sistemas de simulação cirúrgica têm sido desenvolvidos. Apesar de úteis, o custo desses sistemas são proibitivos, sua disponibilização é restrita e a experiência visual que eles oferecem é limitada. Novos instrumentos têm sido desenvolvidos para a educação em neurocirurgia, que permitem demonstração da complexa anatomia 3D e suas relações, buscando em associação com a estereoscopia recriar a experiência de acessos cirúrgicos de forma mais realística do que os métodos de ensino tradicionais. Henn e colaboradores⁴ e Balogh e colaboradores^{38,39} têm sido pioneiros nos trabalhos envolvendo anatomia microcirúrgica com aquisição de imagens do sítio cirúrgico e de peças anatômicas através do uso de um microscópio robótico, porém o custo desse método é alto, envolve uma equipe de engenheiros, laboratório sofisticado e realidade gráfica para renderização de imagens.

Com o objetivo de reduzir os riscos nas neurocirurgias e melhorar a acurácia do procedimento, Zamorano e Kadi em 1994 criaram um *software* que permite o planejamento cirúrgico com a utilização de um arco estereotático ou através da utilização de mão livre guiada por infravermelho. Esse *software* propicia o mapeamento das informações dos estudos de imagem e forma uma nova imagem tridimensional, possibilitando acompanhar a trajetória planejada com a posição do instrumento em tempo real no monitor do computador.³⁵

Kockro e colaboradores em 2000 publicaram um estudo com planejamento pré-operatório e simulação de cirurgias com realidade virtual. Os autores, utilizando um sistema de planejamento neurocirúrgico desenvolvido pela *Dextroscope®*, que permite a fusão de múltiplas imagens de TC e RNM e a sua manipulação em tempo real, em uma interface denominada *Visual Intracranial Visualization and Navegation* (VIVIAN), que produz uma terceira imagem 3D e estereoscópica, conseguiram simular visões intraoperatórias da cirurgia, úteis para o entendimento das relações da lesão com as estruturas vizinhas e a melhor porta de entrada para o acesso cirúrgico.³⁴

Baseados no conceito de que a realidade virtual oferece um grande potencial para o treinamento cirúrgico, Li e colaboradores, em 2002, desenvolveram um sistema para treinamento de neurocirurgiões na realização de rizotomia percutânea do nervo trigêmeo. O treinamento envolveu a inserção

de uma agulha através do forame oval e a lesão do nervo. O servidor ofereceu ao usuário o retorno de seu desempenho na realização do procedimento.¹²⁰

Com o objetivo de conhecer os melhores pontos de referência externa para direcionamento de uma agulha de punção ventricular durante ventriculostomias posteriores, Lee e colaboradores criaram um modelo que, a partir de reconstrução de imagens de RNM e de um sistema de planejamento estereoscópico 3D, marca o ponto de entrada e permite a realização de várias trajetórias simuladas, permitindo a análise da melhor trajetória para alcançar o átrio ou o corpo do ventrículo lateral. Concluíram que, entrando pelo ponto de Frazier, a melhor trajetória ocorre quando o alvo está a 4cm do canto medial contralateral; quando a entrada é o ponto de Dandy e o melhor alvo está a 2cm acima da glabella.¹²¹

Com o objetivo de estudar a utilidade da realidade virtual em procedimentos da base do crânio, Rosahl e colaboradores, em 2006, publicaram um estudo em que o procedimento foi guiado por imagens volumétricas criadas a partir de tomografias, ressonâncias e angiografias dos próprios pacientes, que apresentaram lesões da fossa anterior, posterior e média. As imagens foram trabalhadas no sentido de oferecer um campo de acesso operatório virtual, que era consultado pela equipe durante a cirurgia e comparado com a visão real. Os autores concluíram que o projeto não substitui o conhecimento da neuroanatomia, mas é útil como apoio para o procedimento neurocirúrgico.³⁶ A utilização de imagens estereoscópicas e autoestereoscópicas (aquelas visualizadas sem utilização de óculos, baseada em tela com múltiplos visores e lentes organizadas) têm sido apontadas como o futuro da neurocirurgia.¹²²

Kakizawa e colaboradores em 2007 criaram um atlas 3D e interativo da base do crânio, utilizando um software comercialmente disponível para ilustração (Maya 6.0). Os autores, a partir da dissecação do cadáver, desenvolveram um modelo de alta resolução incluindo estruturas como os nervos cranianos, núcleos do tronco, vasos sanguíneos, dentre outros. O modelo pode ser manipulado, usa transparência que permite ver estruturas mais profundas e é útil como ferramenta de ensino para estudantes e

residentes para aprendizado da neuroanatomia e entendimento de acessos cirúrgicos.¹²³

Vloeberghs e colaboradores (cientistas de computação, engenheiros mecânicos, especialistas em desenho gráfico e um neurocirurgião), em 2007, criaram um simulador de cirurgia que permite realizar alguns passos cirúrgicos com retorno háptico, utilizado como ferramenta de treinamento.¹²⁴ Também em 2007 Sengupta e colaboradores criaram um simulador de procedimentos endovasculares. Por meio de banco de dados que simula a força aplicada em procedimentos endovasculares e a utilização de material sintético, criou-se uma ferramenta para facilitar o planejamento pré-operatório, aumentar a segurança na intervenção e permitir o treinamento de novos cirurgiões.¹²⁵

Para se quantificar o ganho visual com a retração encefálica em cirurgias da base do crânio, D'Ambrosio e colaboradores em 2008 simularam a craniotomia frontotemporal orbitozigomática (CFTOZ) em ambiente virtual e tridimensional. Compararam o ganho visual com a remoção óssea e com diferentes níveis de retração. Para isso, construíram um modelo gráfico do crânio e do cérebro, dos lobos frontal e temporal, incorporaram imagens de tomografia de crânio em cortes sagitais e axiais reconstruídos tridimensionalmente para visualização dos limites da craniotomia. Cada passo necessário para a craniotomia foi criado, com medidas de comprimento e angulação de visão, cada retração cerebral foi também simulada, até a visualização das estruturas profundas. Concluíram que há um ganho significativo de visão com a CFTOZ e com a retração do parênquima.¹²⁶

Em 2010, Malone e colaboradores publicaram uma excelente revisão de ambientes de simulação baseados em computadores e sua aplicação cirúrgica. Os autores chamaram a atenção para o fato de que a evolução nessa área está ligada à criação de volumes a partir de computação gráfica, ao desenvolvimento de modelos de deformação tecidual e à capacidade do sistema de gerar retorno háptico. Os autores comentaram que os custos seriam menores se talvez no futuro houvesse uma parceria internacional para a construção de uma plataforma comum para simulação.¹²⁷ Uma das vantagens da construção da plataforma comum seria a redução de custos.¹²⁷ O desenvolvimento da neurocirurgia caminha com o desenvolvimento da

tecnologia de ponta, o que requer um ambiente socioeconômico favorável, um planejamento de gastos visando as intenções para o futuro, tendo em vista o alto custo desta tecnologia.¹²⁸ A revolução digital dos últimos 20 anos nos oferece novas ferramentas intelectuais e práticas, novos desenhos, nova arquitetura, nova complexidade que permite a sofisticação e modernização da neurocirurgia.¹²⁹ Modelos tridimensionais para planejamento neurocirúrgico foram utilizados na escolha e treinamento de um procedimento neurocirúrgico com resultados favoráveis levando à melhor escolha, entendimento da complexidade das lesões intracranianas e a experiência com o procedimento foi favorável ao ponto do autor descrever como uma sensação de “déjà-vu”.¹³⁰

3.3.7 Quick Time (QT)

Quick Time (QT) é uma plataforma que integra a operação de sistemas gráficos, de áudio e de vídeos digitais, desenvolvido pela Apple Computer. Oferecida em 1992 pela *Macintosh Operating System – MacOS*, o QT 1.0 primariamente enfatizou o manejo convencional baseado em tempo “linear” de vídeo e áudio, similar ao conceito de um filme de cinema: molduras de imagem sequencialmente apresentadas de forma linear no tempo, acompanhadas de áudio sincronizado.¹³¹ Inicialmente introduzido em 1996, o QTVR 1.0 adicionou duas características próprias - classes de realidade virtual com formato não linear e capacidade de *play-back* para o QT 2.0: apresentação de panorama e objeto. O QTVR panoramas permitiu usuários moverem a visão da câmera em 360° em um acesso interativo para visualizar paisagem, estruturas interiores e ambientes modelados. O QTVR objeto permite aos usuários examinar objetos 3D, reais ou modelados, de diversos ângulos permitidos. Alguns tipos de objetos complexos adicionais permitiram comportamentos não usuais, como *cycling* e o *branching play back*, controles interativos permitem ao usuário determinar qual quadro será ativado em um determinado tempo; além de permitir ao usuário controle sobre a quarta dimensão: o tempo, na visualização das estruturas 3D.^{3, 131}

O QT permite a visualização de um filme não linear obtido através de múltiplas fotografias de um objeto (por exemplo o cérebro) colocado sobre uma

plataforma giratória. Utiliza-se uma câmara fotográfica que é presa a uma barra também giratória.³ A câmara roda em torno do espécime anatômico (objeto) que é fotografado de diferentes perspectivas, no plano vertical. Ao mesmo tempo a plataforma com o objeto se move até 360° no plano horizontal, sob visualização da câmara, permitindo a aquisição de imagens em diferentes ângulos. Estas fotografias são visualizadas como um contínuo, um filme não linear, formado por uma seqüência de fotografias, obtidas nos planos horizontal e vertical. O QT permite a interatividade com o usuário, que se movimenta pelos múltiplos objetos em uma grade de imagens, uma vez que cada imagem está ligada a outra, permitindo a visualização contínua pelos múltiplos ângulos da fotografia.³

O VR Worx é um software profissional para criação de filmes em formato QuickTime VR, Mac/Windows compatível. Por meio de uma interface simples e intuitiva, é possível criar filmes 3D a partir de fotografias, usando um dos 3 modos possíveis: Panorama (para criar uma visão virtual de 360°): Objeto (para poder navegar à volta de um objeto em qualquer sentido) e Cena (onde se pode introduzir interatividade ao filme, com links web, ligação a outros).³

4 CASUÍSTICA E MÉTODOS

4.1 Aquisição, dissecação e preparação dos espécimes

Quarenta encéfalos frescos foram obtidos no Serviço de Verificação de Óbitos de São Paulo (SVO-SP), respeitando as técnicas de captação e preservação da integridade do cadáver. Estes encéfalos foram submetidos às técnicas neuroanatômicas no laboratório de Técnica Cirúrgica e Cirurgia Experimental da Universidade de São Paulo (Figura 17). Após a aquisição das imagens dos espécimes todos os tecidos, inclusive os de descarte, foram reencaminhados para o SVO-SP onde foram conduzidos conforme as normas da instituição.

Figura 17 - Sala do laboratório junto à Disciplina de Técnica Cirúrgica e Cirurgia Experimental. A- Foto da sala do laboratório utilizada para a preparação dos espécimes anatômicos. B- Material utilizado para dissecação. C- Substâncias químicas para neurotécnicas. D- Frascos plásticos para armazenamento dos espécimes.

cerebrais isolados, ou seguimentos do hemisfério cerebral foi submetido a diferentes técnicas neuroanatômicas, algumas precedendo à dissecação e outras após a dissecação, conforme o conteúdo de estruturas estipulado pelo

autor. Algumas técnicas neuroanatômicas realizadas foram adaptadas pelo autor; a técnica, o material utilizado e a síntese do procedimento realizado em cada técnica estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 - Distribuição das técnicas Anatômicas segundo o material utilizado e o procedimento realizado

TÉCNICA NEUROANATÔMICA	MATERIAL	PROCEDIMENTO
1- FIXAÇÃO		
1-A FORMOL	Espécime fresco Formol 40%-----100ml Água Destilada-----1000ml Cloreto de Na-----10g	Injeção Vascular Mergulhar o espécime suspenso pela vertebral em recipiente plástico
2- CONSERVAÇÃO		
2-A CONSERVAÇÃO SEM IMERSÃO EM MEIO LÍQUIDO (Método Giacommini)	Espécime fixado em formol a 10% Álcool a 95° Glicerina	Mergulhar o espécime em álcool por 10 dias Trocar uma vez e manter por mais 2 dias Mergulhar em glicerina até afundar Escorrer em peneira
2-B CONSERVAÇÃO SEM IMERSÃO EM MEIO LÍQUIDO (Método de Hochstetter)	Espécime fixado em formol a 10% Álcool 50%,75% e absoluto Xilol Parafina	Desidratação em séries crescentes de álcool Manter por sete dias no Xilol Imersão em parafina (em estufa por período de 24 a 48 horas) Escorrer em estufa Secar ao ar livre
2-C CONSERVAÇÃO EM MEIO LÍQUIDO com Formol	Espécime fixado em Formol 10%	Manter o espécime mergulhado, suspenso pela artéria basilar.
3- INJEÇÃO VASCULAR		
INJEÇÃO VASCULAR COM LÁTEX	Espécime fresco Látex líquido Tinta vermelha e tinta azul solúvel em água Seringa, agulha e cânulas. (plásticas)	Lavar o espécime em água corrente massageando-o. Inserir cânula nas carótidas e vertebrais; amarrar com fio de algodão para evitar extravasamento Corar e injetar lentamente o látex
4- MÉTODO DE MULLINGAN		
	Espécime fixado Solução A Fenol (4g); HCl (1,25ml) Sulfato de Cobre (0,5g) Água (100ml) Solução B Ácido Tânico (2g) Água (100ml) Solução C Alúmen de Ferro (0,5g) Água (100ml)	Lavar os cortes em água Corrente Imergir por 2' na solução A Lavar em água corrente Imergir por 1' na solução B Lavar em água corrente Imergir por 1' na solução C Conservar em álcool

(continua)

5- MODO DE KLINGER

(continuação)

	Espécime fixado Espátulas de plástico ou de madeira Solução de Formol a 2%	Lavar em água corrente (24-48 horas) Congelar por 3 a 7 dias Lavar em água corrente por 48 a 72 horas Dissecar utilizando espátula
6- TEREBENTINA	Espécime fixado em formol, com meninge (dura-máter e aracnoide)	Aplicar com pincel sobre a meninge e deixar secar ao ar livre
7- OSTEOTÉCNICA DE CLAREAMENTO	Água oxigenada 120vol(200ml) Água (800ml)	Imergir o crânio por 24 a 36 horas

Para a técnica de fixação canalizamos a artéria carótida interna e vertebral com sonda de PVC siliconizada (Embramed Ind. e Com. de Prod. Hospitalares LTDA), injetamos formol a 10% e, a seguir, a peça foi mergulhada em formol a 10% por pelo menos 15 dias antes de estar disponível para procedimentos (Figura 18).

Figura 18 - Preparação do espécime para a técnica anatômica. As artérias carótidas e vertebrais foram dissecadas e separadas dos tecidos vizinhos. A seguir foram cateterizadas bilateralmente tomando-se o cuidado para não haver vazamento na injeção. Procede-se a injeção de formol para a fixação. Alguns espécimes são submetidos à injeção de látex colorido para visualização das artérias e seus ramos superficiais.

Peças fixadas em formol foram submetidas à técnica de conservação sem imersão em meio líquido segundo o método de Giacomini (Tabela 1): o espécime fresco foi fixado em formol a 10% por um período de 5 a 7 dias, depois mergulhado em álcool a 95° durante 10 dias, trocado uma vez e mantido por mais 2 dias. Logo após, o mesmo foi imerso em glicerina. Esperou-se a troca do álcool pela glicerina, sinalizada pela imersão do espécime na solução; retirou-se a peça e esperou-se escorrer bem a glicerina em uma peneira ou compressa.

Outros espécimes foram submetidos à técnica de conservação segundo o método de Hochstetteri: o espécime foi fixado em formol a 10%, submetido à desidratação em série crescente de álcoois, 50° ao absoluto, 48 horas em cada passagem. Em seguida foi submetido a uma passagem em xilol (uma semana) e uma imersão em parafina, permanecendo em estufa a 70°C por um período de 24 a 48 horas. Retirou-se da parafina e deixou-se escorrer em estufa por um período de 30 a 60 minutos, após esse período, foi colocado para secar ao ar livre, cuidando sempre da estética da peça (Tabela1). Os espécimes submetidos a essa técnica foram pintados em sua superfície com o intuito de ilustrar áreas de interesse.

Alguns espécimes fixados em formol foram dissecados e conservados em meio líquido com formol a 10%, armazenados e suspensos pela artéria basilar em um barbante e imersos na solução de formol (Tabela 1).

Para o estudo da irrigação arterial alguns espécimes foram submetidos à técnica de injeção vascular com látex. Procedeu-se a canalização das artérias carótidas e vertebrais bilaterais com sondas de PVC siliconizadas (Sonda Embramed®, Embramed Ind. e Com. De Prod. Hospitalares Ltda) (Figura 18). A seguir realizaram-se as injeções vasculares de látex nas artérias carótidas e vertebrais. Injetaram-se em média 10 ml nas carótidas e 5 ml nas vertebrais. O látex utilizado para a injeção vascular (Prevtext®, Bagdalatex, Brasil) foi previamente misturado a um pigmento corante líquido (Xadrez®, Shewrwin Williams do Brasil ind. e com. Ltda) de cor vermelha para o estudo das artérias (Tabela 1). As veias foram injetadas nos espécimes com látex e pigmento corante azul, diretamente nos vasos de interesse, somente os superficiais,

tendo em vista a limitação para injeção jugular em espécimes removidos da cavidade intracraniana. As peças injetadas foram fixadas em formol a 10% após o procedimento da injeção. Para ilustração de territórios arteriais nas superfícies medial, lateral e basal do cérebro alguns espécimes foram submetidos ao método do Hochstetter, seguido de pintura dos territórios de irrigação arterial.

Foram também utilizadas técnicas para conservação sem imersão em líquido em espécimes com exposição das meninges. Alguns espécimes foram, após fixação com formol a 10%, submetidos à remoção da aracnoide para exposição do tecido cerebral em um hemisfério e, no outro hemisfério, preservaram-se as meninges que foram tratadas com terebintina (Acrilex®, Acrilex Tintas Especiais S.A).

Alguns espécimes foram submetidos à dissecação de substância branca segundo o modo de Klinger: O encéfalo fixado foi lavado em água corrente por 24 a 48 horas, congelado por 3 a 7 dias, lavado novamente em água corrente por 48 a 72 horas, mantido em solução de formol a 2% até a dissecação, utilizando-se de espátula de madeira (Tabela 1).

Para estudo da substância cinzenta alguns espécimes foram submetidos à técnica de coloração de substância cinzenta segundo o método de Mulligan. Nesse método realizamos cortes axiais, sagitais e coronais do sistema nervoso fixado em formol, os quais foram imersos em três soluções diferentes contendo fenol, ácido clorídrico, sulfato de cobre e água, a segunda, com ácido tânico e água, a terceira, com alúmen de ferro e água. Após as imersões a peça foi lavada em água corrente e conservada em álcool a 70° GL. (Tabela1). Os espécimes foram dissecados objetivando expor estruturas de interesse conforme o conteúdo a ser preparado para apresentação aos alunos.

Na dissecação utilizamos material cortante, como bisturi, tesoura e faca. Para remoção de aracnoide utilizamos pinças anatômicas, pinça de joalheiro, pinça dente de rato, microdissectores e descolador de Penfield. Parte da dissecação foi realizada sobre aumento utilizando microscópio próprio do laboratório (CEMAPO®, Modelo L-860).

Um total de 53 espécimes foi preparado segundo as técnicas neuroanatômicas descritas (Tabela 2). Foram preparados 11 espécimes

segundo a técnica de conservação sem imersão em líquido, método de Giacomini (Figura 19-A), 10 espécimes segundo o método de Hochstetter e pintura (Figura 19-B). Onze espécimes foram submetidos à técnica de fixação com formol (três foram preparados para exposição das meninges com a utilização de Terebentina) (Figura 19-C). Um espécime foi submetido à dissecação de fibras brancas segundo o método de Klinger (Figura 19-D).

Figura 19 - Amostra de espécimes submetidos a diferentes técnicas neuroanatômicas. A- Espécime submetido à técnica de conservação sem imersão em líquido: Método de Giacomini. B- Espécime submetido à técnica de conservação sem imersão em líquido: Método do Hochstetter, seguido de pintura das áreas de interesse. C – Espécime submetido à Técnica de fixação com formol e remoção de meninges. Usado Terebentina na dura mater. D- Espécime submetido à técnica de dissecação de fibras brancas: Método de Klinger.

Um total de 5 espécimes foram preparados para a exposição dos vasos sanguíneos (técnicas de injeção vascular de látex): 4 espécimes para exposição arterial e 1 espécime para e exposição venosa (Figura 20).

Figura 20 - Amostra de espécimes submetidos à técnica de injeção vascular de látex, preparados para estudo da irrigação arterial e venosa do encéfalo. A e B – Espécimes preparados para ilustrar o território de irrigação da artéria cerebral anterior, cerebral média e cerebral posterior na superfície lateral e basal do hemisfério cerebral. C – Artérias da superfície basal com atenção para ramos da vertebral, basilar e polígono de Willis. Observa-se as artérias vertebrais, basilar, PAICA, AICA, SULCA, ACP, AcoP, ACI, ACM, ACA, AcoA, ramos da artéria cerebral média. D – Seio sagital superior e veia de drenagem superficial.

Do total de 10 espécimes submetidos ao método de Hochstetter, 3 ilustram os territórios de irrigação arterial na superfície medial e lateral do encéfalo (Figura 21); 4 ilustram os lobos cerebrais; um, as áreas funcionais da superfície lateral; um, o sistema límbico e um, as folhas do cerebelo.

Figura 21 - Amostra de espécimes submetidos ao método do Hochstetter e, posteriormente submetidos à pintura. A- Território de irrigação arterial da superfície lateral do cérebro. B- Território de irrigação arterial da superfície medial do cérebro. C- Território de irrigação arterial dos diferentes ramos da artéria cerebral média. D- Território de irrigação dos diferentes ramos da artéria cerebral anterior. Verde=artéria cerebral média; vermelho: artéria cerebral anterior; azul: artéria cerebral posterior.

Para visualização dos núcleos da base, diencéfalo e substância cinzenta cortical, sete espécimes foram submetidos a cortes axiais e coronais e preparados segundo o método de Mulligan (Figura 22). Um total de oito crânios foram submetidos à técnica de clareamento ósseo e pintura (Tabela 2).

Figura 22 - Amostra de imagens de espécimes submetidos à técnica de coloração para substância cinzenta – método de Mulligan. A- Corte axial do encéfalo visualizando-se os núcleos da base e o ventrículo lateral. B- Corte axial do tronco encefálico (ponte) e cerebelo evidenciando o pedúnculo cerebelar médio. C- Corte axial do encéfalo evidenciando o corpo do ventrículo lateral, núcleo caudado, tálamo e plexo coroide. D- Espécime dissecado evidenciando o cerebelo, pedúnculo cerebelar superior e o assoalho do quarto ventrículo.

Após a aquisição das imagens, essas foram processadas em software Photoshop CS5 para edição. Nessa edição, retirou-se todo o ambiente externo à foto, o qual foi substituído por um fundo preto (Figura 23).

Figura 23 - Ilustração de amostra de espécimes ante e após a edição com o software Photoshop CS 5. A e C ilustram os espécimes fotografados no suporte. B e D ilustram a sequência dos mesmos espécimes após a editoração.

Um total de 7.300 imagens foi obtido. Após avaliação pelo autor da qualidade visual dessas imagens, foram selecionadas 5.337. Essas imagens foram armazenadas em pastas e organizadas conforme a técnica anatômica aplicada e as estruturas que motivaram a sua criação (Tabela 2).

Tabela 2 - Distribuição dos espécimes segundo a técnica anatômica utilizada e o conteúdo principal disponível para visualização

NEUROTÉCNICA	Nº	Linhas	Ângulo	Colunas	Ângulo
(CONTEUDO PRINCIPAL)	imagens				
1-GIACOMINI (Glicerina) GPC/GPC/CC/Vent/GTT/Atrium	133	19	180	7	90
2- GIACOMINI (Glicerina) GPC/GPC/GSM/Vent/Hipocamp	133	19	180	7	90
3-GIACOMINI (Glicerina) BaseFrontal/Hipocampo/CMamilares/Tronco/IVVentriculo	133	19	180	7	90
4-GIACOMINI(Glicerina) VentriculosLaterais/Hipocampo/GPC/GTT	133	19	180	7	90
5-GIACOMINI (Glicerina) GiroCingulo/NcsBase/VentriculosLaterais	133	19	180	7	90
6-HOCHSTETTER(Parafina/Pintura) TerritoriIrrigaçãoFaceLateral	133	19	180	7	90
7-Injeção vascular ACM/FSylviana/AICA/PolígonoWillis	80	13	120	6	75
8-INJEÇÃO VASCULAR DE LATEX ACM/InsulaeFacetemporalFissuraSylviana	65	9	180	7	90
9-FORMOL/TEREBENTINA (Meninges) Hemisfériocomaracnoide/dura/outrossemmeninges	86	12	110	7	90
10-GIACOMINI (Glicerina) LoboTemporalesuasfaces	172	19	180	9	120
11-HOCHSTETTER (Parafina/Pintura) LobosFaceLateraleMedial	133	19	180	7	90
12-HOCHSTETTER (Parafina/Pintura) LobosFaceLateral	133	19	180	7	90
13-HOCHSTETTER (Parafina/Pintura) ÁreasFuncionaisFaceLateral	133	19	180	7	90
14-HOCHSTETTER (Parafina/Pintura) LobosCerebraisBilateralSpuperolaeral	133	19	180	7	90
15-HOCHSTETTER (Parafina/Pintura) LoboLímbico	133	19	180	7	90
16-CONSERVAÇÃO FORMOL LobosCerebraisSulcoseGiros	290	36	350	8	105
17-CONSERVAÇÃO EM FORMOL FaceBasalcomTroncoeCerebelo	154	19	180	8	105
18- CONSERVAÇÃO EM FORMOL FaceBasalsemtronco	122	10	135	12	110
19-CONSERVAÇÃO EM FORMOL FaceBasalaumentadaGiroDenteado,Fimbria,Subículo	17	0	0	17	160

continua

20-CONSERVAÇÃO EM FORMOL	19	180	8	105	
TálamoPulvinar,LQuadrigemina,IVventriculo, Pedúnculos,BlocoCentral,Insula,Fissura					
21-CONSERVAÇÃO EM FORMOL	100	10	180	10	134
FaceLateralSulcosGírios					
22-INJEÇÃO VASCULAR DE LATEX	12	12	220	0	0
IrrigaçãoobasePolígonoWillis					
23-INJEÇÃO VASCULAR DE LATEX	12	12	165	0	0
IrrigaçãoBaseAICAICAACPPolígonoACM					
24-HOCHSTETTER (Parafina/Pintura)	133	19	180	7	90
TerrítóriolIrrigaçãoFaceMedial					
25- HOCHSTETTER (Parafina/Pintura)	133	19	180	7	90
Terrítóriodeirrigação RamosFaceMedial					
26-MODO DE KLINGER	190	19	180	10	135
FLS,FLI,FUnc,RadiaçãoÒptica,Putamen,CI					
27-CONSERVAÇÃO EM FORMOL/Terebintina	190	19	180	10	135
Tentório/FoixedoCerebro					
28-GIACOMINI (GLICERINA)	95	19	180	5	80
PulvinarTalamo,LamQuad,Cerebelo,EstriamedularTalamo, habenula,IIIventriculo,GFI-CornoFrontal					
29-GIACOMINI (GLICERINA)	12	0	1	90	10
ASSOALHOIIIVENTRICULO,LAMINAQUADRIGEMIA,CERE BELO,HABENULA					
30-CONSERVAÇÃO EM FORMOL/ Terebintina (Meninges)	190	19	180	10	135
DuraMateremhemisferioearacnoidenoutro					
31-GIACOMINI (GLICERINA)	152	19	180	8	105
ÍNSULAcomNcsdaBase					
32-CONSERVAÇÃO EM FORMOL/MENINGES	172	19	180	8	105
FACE BASAL com Aracnóide,vasosdabaseseminjeção, nervoscranianos,polostroncocerebelo					
33-CONSERVAÇÃO EM FORMOL	469	36	350	120	13
Hipocampo,Fornix,ComissuraHipocampal,Atrium,Tálamo, FissuraCorioóidea,ComAnterior,Amígdala					
34-Mulligan					
35-GICOMINI (GLICERINA)	158				
FACESDO CEREBELO E TRONCO CEREBRO E VÓSCULOS CRANIANOS					
36-MULLIGAN	91	20	180	120	9
AXIAL-Ncs da base, CI, GTTeAtrium,corpventriculo					
37-MULLIGAN	8	1	0	60	7
AXIAL-Tálamo,plexocoróideo,caudado					
38-MULLIGAN	11	1	0	100	11
AXIAL-Corpo caloso notetodoventriculovistodedentro					
39-MULLIGAN	7	1	0	60	7
CORONAL-Fórnix,Hipocampo,Pineal,LamQuad,Assoalho					

do IV ventrículo, Tálamo, CI					
40-MULLINGAN	8	1	0	70	8
CORONAL- CI,NCBASE,NEUROEIXO					
41-MULLINGAN COM PINTURA	6	1	0	100	6
CORONAL-Ncs da Base					
42-CRANIO	13	13	120	0	1
Linhas de Fratura (face interna)					
43-CRANIO	14	1	0	130	14
Medidas rodandotemporotemporal					
44-CRANIO	13	13	120	0	1
Medidas rodandofrontooccipital					
45-CRANIO	37(DE5	37	360	0	1
Medidasrodandolateral					
	4)				
46-CRANIO	133	19	180	90	7
Pinturadosossos					
47-CRANIO	11	1	0	100	11
PinturaBase					
48-CRANIO	14	0	1	130	14
Pintura visão única linha					
49-CRANIO(DENTRODO42)	15	0	1	140	15
PINTURADASLINHASDEFATURARODANDOTT					
50-INJEÇÃO VASCULAR DE LÁTEX	26				
DRENAGEMVENOSADASUPERFICIECEREBRAL					
MODO APENAS COM IMAGENS EM PARES					
51-HOCHSTETTER (PARAFINAPINTURA)	133	19	180	120	9
LOBOSFACEMEDIAL					
52-(GIACOMINI)GLICERINA	81	18	170	135	10
Fissurasylviana(PTPO),Insula,corpodoventriculo.					
53-HOCHSTETTER (PARAFINA/PINTURA)	10	10	135	0	1
CEREBELOFOLHAS					
TOTAL DE FOTOGRAFIAS	5337				

4.2 Aquisições das imagens

Imagens das áreas de interesse foram capturadas em espécimes devidamente preparados conforme descrito previamente. Seguiu-se um plano de execução das fotografias que levou em consideração a necessidade de obterem-se imagens que representem o conteúdo a ser ministrado em um curso de neuroanatomia para alunos de graduação em Medicina.

Os encéfalos preparados foram colocados sobre uma plataforma giratória manual, desenhada e desenvolvida especificamente para esse fim (Figura 24) no laboratório de técnica cirúrgica e cirurgia experimental da USP e da Universidade Federal de Uberlândia. A plataforma possui um suporte (braço) giratório manual para câmara fotográfica, com capacidade de controle do ângulo de movimentação a cada 5°, 10°, 15° e 20°, montada sobre uma cabeça móvel para suporte de máquina fotográfica (Manfrotto®, modelo 300N, bogen imaging), que possibilita movimentar a câmara em uma semicircunferência de 180° (Figura 24-A). A base da plataforma giratória manual é circular, permitindo um deslocamento de até 360° nos sentidos horário e anti-horário (Figura 24-B). A plataforma foi construída de madeira recoberta com fórmica preta, para facilitar o contraste com os espécimes que são claros, facilitando o trabalho com o *software* na edição das imagens.

Foram construídos suportes, também de madeira e fórmica, para a sustentação e fixação da peça, evitando deslocamentos durante o processo de mudança de angulação com o movimento circular da base (Figura 24-C). Os espécimes foram colocados sobre o suporte e ambos (espécime e suporte) fixados sobre a plataforma giratória (Figura 24-D).

Figura 24 - A/D - Imagem mostrando um modelo de plataforma giratória manual acoplada a um suporte para câmara fotográfica também giratório e manual, para colocação do objeto (peça anatômica) e da máquina fotográfica e obtenção de fotografias em diversos eixos.

Para aquisição das imagens utilizou-se uma câmara digital *Sony Cyber-Shot DSC-H55*, 14.1 *Mega pixels*, zoom óptico de 10x, tela LCD e lente angular de 25mm. (Sony®, Sony Brasil Ltda.). O foco da câmara foi direcionado para o centro do espécime e através de visualização direta no visor, fixou-se o melhor aumento segundo a análise visual feita pelo autor, que variou conforme o espécime e a área de interesse. Procedeu-se à aquisição das fotografias com iluminação natural e artificial, com a luz direcionada ao objeto em cada aquisição conforme a necessidade visualizada pelo autor naquele momento. A câmara foi deslocada diretamente em eixo convergente, conforme o movimento da barra (suporte) com a câmara (Figura 25). Para cada segmento deslocado com a câmara, promovia-se um deslocamento completo da base, na medida

programada. Ao final do movimento completo com a base reinicia-se o processo retornando a base ao ponto inicial para novo deslocamento da câmera. O limite de deslocamento para a barra é de 180° , já para a base giratória é de 360° (Figura 25). As imagens obtidas foram inicialmente armazenadas no *software* da própria câmara e transferidas para o computador para a posterior editoração das imagens.

Figura 25 - Ilustração da plataforma giratória construída para a aquisição das imagens. A- Plataforma ilustrando o braço com a câmera fotográfica, o espécime dissecado e submetido à técnica neuroanatômica apoiado sobre o suporte, ambos sobre a base circular giratória manual. B- Ilustração do movimento realizado com o braço de até 180° . C- Suporte para a base da plataforma e para o braço, permitindo o controle da angulação do movimento. D- Ilustração do movimento realizado com a plataforma giratória sobre o suporte de até 360° .

4.3 Editoração das fotografias

As imagens obtidas foram mantidas sem qualquer alteração. A área ao entorno da imagem foi trabalhada com o programa *Photoshop CS5* (Adobe®). Removeu-se toda a lateral ou porção externa à peça e substituiu-a por cor preta. Não houve qualquer mudança editorial da fotografia na imagem da peça,

como por exemplo, completar cores ou cobrir alguma erosão ou lesão de sua estrutura, respeitando a realidade e a integridade de cada espécime.

4.4 Processamentos das imagens para o formato bidimensional convencional

Para aquisição, processamento e editoração da imagem utilizou-se um computador notebook Dell, Modelo XPS L502X com processador Intel® Core™ i7 2.2 Ghz ; memória RAM de 8,00 GB (utilizável:7,90 GB), sistema operacional de 64 Bits, Windows® 7 e Windows® XP.

4.5 Processamentos das imagens para o formato tridimensional interativo

A seguir as imagens foram processadas com programa computacional comercialmente disponível, *VR Worx 2.6* para *Windows*, que permite a composição de um filme de formato não linear e interativo, utilizando a sequência de fotografias obtidas de cada peça. Inicialmente selecionou-se o ícone “create an object” (Figura 26).

Figura 26 - Fotografia da interface do software VR Worx 2.6.1 utilizado na construção da ferramenta. Observa-se a seleção do ícone “Create an Object” (Criar um Objeto). O espécime anatômico corresponde ao objeto que será criado.

Em seguida nova interface é aberta solicitando informações sobre o número de imagens em colunas e linhas e os ângulos em que foram adquiridas (Figura 27).

Figura 27 - Interface da segunda etapa para aquisição do objeto. O ícone “setup” permite a programação de quantas colunas e linhas serão utilizadas, bem como o ângulo utilizado entre cada imagem no processo de aquisição.

Para a aquisição das imagens e seu armazenamento para composição do filme não linear nova interface é utilizada. Faz-se a opção por aquisições múltiplas e, automaticamente, múltiplos quadros de fotografias são armazenados e disponibilizados para visualização (Figura 28).

Figura 28 - Ilustração da aquisição das imagens que são armazenadas em “frames” (quadros) seriados, longitudinais (linhas) e verticais (colunas). A ilustração mostra uma câmera que representa a máquina fotográfica utilizada, e um parafuso que representa o espécime (objeto).

Após a aquisição das imagens realizamos a composição tridimensional, onde as imagens foram armazenadas em múltiplos quadros seguindo a ordem de aquisição e disponibilização no programa computacional (Figura 29).

Figura 29 - Ilustração de uma grade de imagens organizadas em janelas sequenciais, em linhas e colunas, conforme a ordem de aquisição, armazenadas no programa VR Worx 2.6.1.

Por meio do ícone “preview”, todas as imagens armazenadas podem ser visualizadas com possibilidade de interação pelo usuário, na forma de um filme não linear tridimensional (Figura 30).

Figura 30 - Ilustração da composição final tridimensional visualizada pelo usuário no espaço virtual da tela do computador. O movimento com o mouse pelo usuário leva ao movimento da peça visualizada no mesmo sentido, caracterizando a propriedade de interatividade da ferramenta.

4.6 Processamentos das imagens para o formato estereoscópico

Cada sequência de imagens elaborada para a apresentação tridimensional interativa foi selecionada. Conforme a ordem de aquisição denominou-se para cada imagem a sua posição, como direita ou esquerda. A primeira imagem foi considerada esquerda e a sua sequencial, considerada direita, e assim sucessivamente até o final da sequência. Essas imagens foram trabalhadas com o *Stereo Photo Maker* (Figura 31). As imagens direita e esquerda foram combinadas e entrelaçadas, armazenadas em forma de pares estereoscópicos anáglifos, no formato JPG. As imagens direita e esquerda foram obtidas em uma angulação circular conforme movimento da plataforma giratória construída, com a distância em graus entre as imagens, que variou de 5° a 15°, conforme o espécime. As imagens foram armazenadas para projeção em único Datashow no formato anáglifo, com utilização de óculos especial vermelho/ciano 3D.

Figura 31 - Visualização das imagens direita e esquerda para a formação do estereopar.

4.7 Processamento das imagens para o formato linear estereoscópico interativo

Para a manipulação das imagens estereoscópicas utilizamos os pares estereoscópicos criados no formato de anáglifos vermelho e azul. As imagens formadas com o software *Stereo Photo Maker* foram aplicadas no programa *VR Worx 2.6*, formando-se novas sequências de imagens, agora não apenas tridimensionais e interativas, mas também estereoscópicas, finalizando o processo de construção da ferramenta (Figura 32).

Figura 32 – Modelo da Imagem estereoscópica finalizada (usar óculos 3D, para anáglifo, vermelho azul, para adequada visualização.).

A partir disso criou-se um banco de imagens dos espécimes preparados conforme itens anteriores, disponíveis para aulas expositivas com o conteúdo restrito às estruturas visualizadas em cada imagem, sem outras informações

acopladas, como, por exemplo, texto ou símbolos. Essas imagens foram armazenadas para posterior aplicação aos alunos.

4.8 Implementação e avaliação da ferramenta de ensino

A partir do programa de neuroanatomia do curso de graduação de Medicina da Universidade de São Paulo, de 2011, formulou-se uma lista de temas de aulas a serem ministradas. A seguir sorteou-se o tema para a aula a ser ministrada aos alunos para a avaliação da ferramenta. O tema sorteado foi o Sistema Límbico. O autor selecionou as imagens e as organizou para apresentação de uma aula de 50 minutos. O conteúdo da aula foi escrito e a leitura foi cronometrada para 50 minutos e impressa, para ser aplicada aos grupos a serem formados.

Avaliou-se um total de 84 estudantes do curso de graduação em Medicina. Todos já haviam cursado a disciplina de neuroanatomia. Estes alunos foram distribuídos aleatoriamente (através de sorteio) para três grupos pré-determinados de 28 alunos. Os estudantes foram randomizados para um dos três grupos principais: aula tradicional, aula com a ferramenta tridimensional interativa e aula com a ferramenta tridimensional interativa estereoscópica. Um total de 84 alunos foram distribuídos em três grupos de 28 alunos, denominados grupo 1 (convencional), grupo 2 (interativo não estereoscópico) e grupo 3 (interativo estereoscópico). Os alunos do primeiro grupo submeteram-se a uma aula teórica expositiva. Nessa aula, foram utilizadas imagens bidimensionais, presentes na sequência de fotos tridimensionais a serem aplicadas aos alunos dos demais grupos. Todas as estruturas pré-determinadas da superfície e da profundidade do lobo límbico foram apresentadas em um só ângulo de visão. O segundo grupo submeteu-se a uma aula utilizando-se do recurso didático tridimensional e interativo, não estereoscópico, com as imagens da aula anterior acrescidas da sequência de diversos ângulos de visão, além da exposição do todo da peça. A aula foi ministrada no laboratório de realidade virtual, para cada 10 alunos, em um total de três aulas (Figura 33). Cada aluno ocupou um computador pessoal. O autor apresentou a aula utilizando do recurso de *software Lan School* que permite ao

professor ministrar a aula sem a interferência do aluno. O terceiro grupo submeteu-se à mesma aula com a ferramenta tridimensional, interativa e estereoscópica.

Figura 33 - Ilustração do laboratório de Realidade Virtual, com os computadores exibindo em suas telas arquivo VR Worx aplicado na aula sorteada (Sistema Límbico). Os alunos estão realizando a avaliação teórica.

Com o intuito de avaliar o conhecimento prévio dos alunos sobre o tema sorteado, Anatomia do Sistema Límbico, aplicou-se uma questão genérica a todos os alunos, escrita, em que foi solicitado que os estudantes escrevessem os nomes das estruturas do sistema límbico que eles conhecem. No início da aula, com material tridimensional estereoscópico, o autor questionou os alunos se algum deles não conseguia visualizar a imagem com profundidade flutuando na frente da tela do computador.

O conteúdo teórico das aulas foi idêntico, ministrado pelo autor do trabalho, seguindo literalmente o texto previamente elaborado. As aulas tiveram duração de 50 a 60 minutos. Não foram permitidas intervenções dos alunos

com o intuito de se evitar qualquer possibilidade de informação nova ou repetições de informações já ministradas que pudessem gerar diferenças entre os três grupos.

Utilizou-se de uma metodologia de análise de aprendizagem do conteúdo pelos alunos, por meio da avaliação dos registros deixados sobre a experiência com a aula no ambiente do laboratório de realidade virtual e por meio de parâmetros tradicionais de mensuração, por perguntas e respostas, e por uma avaliação prática. Na avaliação teórica, aplicou-se uma questão dissertativa para avaliar o conteúdo assimilado em que o estudante deveria listar as estruturas do sistema límbico (Figura 34).

Figura 34 - Ilustração dos alunos submetidos à aula com a ferramenta de ensino, realizando sua avaliação prática. Foram utilizadas as peças dissecadas e apresentadas na aula no arquivo VR Worx 2.6.1.

Na avaliação prática o aluno deveria reconhecer estruturas apresentadas nas aulas em peças anatômicas. Os espécimes utilizados foram distribuídos em 10 estações, com as mesmas peças utilizadas na aula teórica. Para a sinalização das estruturas a serem identificadas foram utilizados alfinetes coloridos (Figura 35). O tempo foi cronometrado permitindo-se dois minutos por estação.

Figura 35 - Imagens ilustrando a prova prática em que os estudantes deveriam identificar as estruturas apontadas com os alfinetes.

Foi também solicitado aos alunos que se submeteram à aula com a ferramenta tridimensional, com e sem estereoscopia, que descrevessem as vantagens e desvantagens percebidas quando comparadas às aulas tradicionais bidimensionais com imagens fixas utilizadas em seu curso regular de neuroanatomia.

4.9 Análise estatística

As características dos grupos em relação ao conhecimento prévio e notas foram descritas utilizando-se de porcentagens, médias e desvio padrão. A comparação entre os grupos e as avaliações foi feita por meio da ANOVA e o teste de Tukey para múltiplas comparações. A ANOVA foi realizada após a transformação dos dados por $\sqrt{(x + 1)}$, os quais satisfizeram as pressuposições da análise, em que os resíduos da ANOVA apresentaram

distribuição normal por meio do teste de D'Agostino. Para avaliar a magnitude da melhora nas notas antes e após a aula, utilizou-se do tamanho do efeito, que é obtido por meio da diferença estandardizada entre as médias dos grupos. Os tamanhos de efeitos $\geq 0,2$ e $< 0,5$ são pequenos; entre $\geq 0,5$ e $< 0,8$ são médios; entre $\geq 0,8$ são considerados grandes. Antes da realização das análises, os valores extremos e discrepantes foram retirados utilizando-se os resultados do gráfico de Box-Plot. O nível de significância estatística adotado foi de 0,05. O programa utilizado para as análises foi o SPSS versão 17.0 (Chicago, IL).

4.10 Ética

Foi obtida aprovação pelo comitê de ética do hospital e todos os participantes aprovaram o consentimento esclarecido. Nenhuma informação que identificasse os participantes foi coletada e a participação foi voluntária.

5 RESULTADOS

5.1 Material didático desenvolvido

Após o armazenamento as imagens foram submetidas ao software VR Worx 2.6 e montadas sequencialmente em formato não linear tridimensional e interativo. As sequências foram armazenadas e disponibilizadas para aulas, em um total de 53 sequências conforme as aquisições selecionadas e apresentadas na tabela 2 (Figura 36).

Figura 36 - Visualização de arquivos de imagens no formato VRWorx, tridimensional e interativo, não estereoscópico.

As imagens não estereoscópicas foram processadas no programa Stereo Photo Maker e os pares estereoscópicos foram formados (Figura 37).

Figura 37 - Amostra de imagens de pares estereoscópicos formados a partir da sequência de aquisição das imagens. Foram consideradas a primeira imagem como esquerda e a imagem seguida como a direita (Usar óculos 3D, para anáglifo, vermelho azul, para adequada visualização).

Os pares estereoscópicos foram processados, criaram-se novos filmes não lineares interativos, agora estereoscópicos, finalizando a criação da ferramenta, composta de imagens bidimensionais, tridimensionais interativas e tridimensionais estereoscópicas interativas (Figura 38). Disponibilizou-se uma amostra das imagens para visualização em computador pessoal (Apêndice A).

Figura 38- Ilustração da imagem stereoscópica interativa.

5.2 Avaliação da ferramenta

O recurso didático construído foi aplicado como ferramenta para o ensino teórico da neuroanatomia sendo comparada ao método tradicional convencional: aula teórica com imagens bidimensionais, não interativas. Avaliou-se um total de 84 estudantes do curso de graduação em Medicina, sendo que todos já haviam cursado a disciplina de neuroanatomia. A distribuição das médias obtidas antes e depois das aulas estão representadas no Gráfico 1.

Gráfico 1 - Distribuição das médias das notas obtidas na avaliação antes e depois da aplicação da aula segundo os três grupos de alunos.

Os resultados antes e após a aula foram analisados observando-se que os grupos mostravam conhecimento prévio semelhante previamente à prova. Houve interação significativa ($p < 0,05$) entre a intervenção e os grupos, evidenciando-se um comportamento diferenciado dos grupos antes e após o treinamento (Tabela 3).

Tabela 3 - Distribuição e comparação da média das notas antes e depois da aula e tamanho do efeito da intervenção em cada grupo.

GRUPOS	ANTES		DEPOIS		Tamanho do Efeito
	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	MÉDIA	DESVIO PADRÃO	
GRUPO 1	1,62a	0,65	*4,72b	1,20	4,77
GRUPO 2	1,57a	0,65	*5,97a	1,28	6,77
GRUPO 3	1,62a	0,65	*6,03a	1,20	6,78

* Representa a diferença estatística entre médias dentro dos grupos ($p < 0,05$). Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente por meio do teste de Tukey ($p > 0,05$).

Observa-se que as médias do conhecimento prévio dos grupos não diferiram estatisticamente entre si ($> 0,05$). Entretanto, avaliando-se as notas após as aulas, verifica-se que os Grupos 2 e 3 apresentaram as maiores médias e diferiram estatisticamente do Grupo 1 ($p < 0,05$). O Grupo 2 não diferiu

estatisticamente do Grupo 3 ($p>0,05$), mostrando que o resultado do treinamento foi semelhante nos dois grupos. Observando-se os tamanhos do efeito, verifica-se que esses foram de grande magnitude, indicando uma efetividade do treinamento dos alunos.

As médias das notas obtidas na prova prática foram distribuídas conforme os grupos (Gráfico 2).

Gráfico 2 - Distribuição das médias das notas obtidas na avaliação prática segundo os diferentes grupos.

Realizou-se análise estatística, comparando-se a média das notas entre os diferentes grupos na prova prática (Tabela 4).

Tabela 4 - Distribuição e comparação das médias obtidas na prova prática por cada grupo.

		GRUPO1	GRUPO 2	GRUPO3
Prova prática	Média	4,36b	6,36a	6,45a
	Desvio Padrão	1,33	1,58	1,31

Médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente por meio do teste de Tukey ($p>0,05$).

Os resultados da ANOVA mostraram que existe diferença significativa ($p < 0,05$) entre as médias dos grupos, e por meio do teste de Tukey observou-se que existe diferença estatística entre o Grupo 1 e os demais ($p < 0,05$). Pode-se observar, que de modo semelhante à prova teórica, não houve diferença estatística entre os Grupos 2 e 3.

Todos os alunos conseguiram visualizar as imagens estereoscópicas. As respostas à questão aplicada sobre as vantagens e desvantagens do novo método interativo sobre o tradicional estão apresentados no gráfico 3. Houve aceitação da ferramenta por todos os alunos do método não estereoscópico. Dos alunos com estereoscopia, quatro queixaram-se de cansaço visual. Os pontos negativos foram: ausência de nomes e textos (12 alunos), além da impossibilidade de contato físico (4 alunos).

Gráfico 3 - Distribuição das respostas das vantagens da ferramenta de ensino sobre o método tradicional.

Para a construção e aplicação da ferramenta utilizaram-se instalações dos laboratórios e equipamentos já existentes, como, por exemplo, estufa e geladeira. O material de dissecação, recipientes para substâncias químicas, material de consumo (luvas, cateteres, fios, lâminas de bisturi, material de

limpeza) foram fornecidos pelo laboratório. Os computadores foram adquiridos para a construção do laboratório virtual, mas também utilizamos computadores pessoais, sem custos. Os gastos inerentes especificamente à construção da ferramenta são listados na Tabela 5.

Tabela 5 – Relação do material e serviço necessários para a construção da plataforma, edição final das imagens e seus custos em reais.

Material e Serviço	Custos em Reais
Cabeça Manfrotto 300N (2 Unidades)	R\$ 1.200,00
Serviço de marcenaria	R\$ 1.000,00
Programa VR Worx 2.6	R\$ 500,00
Programa Photoshop CS5	R\$ 1.300,00
TOTAL	R\$ 4.000,00

6 DISCUSSÃO

6.1 Discussão sobre a remoção, o preparo e as técnicas neuroanatômicas

Este estudo não objetivou a dissecação ou a aplicação de novas técnicas de preparo de espécimes anatômicos, contudo para a criação de uma ferramenta de ensino realística, fez-se necessário trilhar um dos primeiros passos dados na história para construção do conhecimento anatômico: a dissecação. A importância do ensino de técnicas anatômicas para a pós-graduação em anatomia foi discutida por Liberti e colaboradores, em que se enfatizou a importância do domínio das diversas técnicas para viabilizar a apresentação adequada das estruturas e favorecer o seu estudo e aprendizado.¹³² O mesmo autor, professor de Anatomia da Universidade de São Paulo, publicou suas fichas e apostilas pessoais, um manual de técnicas anatômicas utilizado em sua disciplina, quando tivemos a oportunidade de praticar as diversas técnicas e realizar nosso treinamento sob sua orientação.¹³³

Na primeira etapa para construção da ferramenta de ensino, os espécimes foram removidos, segundo técnicas já bem descritas e consolidadas na literatura, seguidos da fixação em formol.¹³³⁻¹³⁴ Além dessas existem outras opções para a conservação dos espécimes como, por exemplo, fixadores industriais, soluções de embalsamento de cadáveres e preparações para restaurar a flexibilidade de peças fixadas em formol.¹³⁵⁻¹³⁷ Sanan e colaboradores, no laboratório da Universidade de Cincinnati e na Clínica Mayfield, descrevem sua opinião sobre soluções industriais e o álcool etílico 66% para a fixação, segundo esses, deixariam o espécime menos rígido que aqueles fixados em formol, facilitando a dissecação.¹³⁸ Comentando esse estudo, Diaz Day entende que não é significativa a mudança da consistência do tecido quando utiliza formaldeído.¹³⁸ Em nosso estudo, utilizamos formaldeído, e constatamos que a consistência é realmente endurecida. Entretanto, nossa opção levou em consideração a tradição da técnica, a facilidade com o material que é disponível nos locais de remoção e nossa experiência anterior com fungos na fixação com álcool. Leure-Dupre comenta que não usa o álcool pelo

risco maior de patógenos, preferindo uma imersão em formaldeído inodoro.¹³⁸ Entendemos que, em virtude dos riscos de intoxicação com o formol, a tendência será o abandono de sua utilização.^{23,24,25}

Sanan e colaboradores, em 1999, descreveram a sua técnica de injeção vascular de silicone.¹³⁸ As injeções foram realizadas em cabeças seccionadas pelo pescoço, seguidas de canalização das carótidas cervicais, jugulares e vertebrais. Em nosso estudo não foi possível, por questões legais, utilizar cabeças seccionadas pelo pescoço. Os espécimes foram injetados na carótida e vertebral intracranianas. A técnica de remoção do encéfalo, rotina dos serviços de verificação de óbito em todo o mundo, reduz a qualidade da injeção vascular em virtude de secções obrigatórias de vasos arteriais e venosos, permitindo extravasamento de grande quantidade da solução e impondo dificuldades para o pesquisador que não consegue comprimir adequadamente todas as lesões. O volume utilizado de silicone para jugular, carótidas e vertebrais é, em média, 60 ml, 30 ml e 15 ml respectivamente.¹³⁸

Rhoton, Gainesville-Flórida, utiliza quantidade maior, geralmente 100ml, 40ml e 15ml, para jugular, carótidas e vertebrais respectivamente. Comentando o mesmo estudo Oliveira e Wen ressaltam a importância da remoção dos coágulos previamente à injeção para o êxito na preparação.¹³⁸ Não empregamos essa técnica nos espécimes com coágulos não removidos e como também naqueles com aterosclerose evidente macroscopicamente.

Na busca em eleger um método para coloração de substância cinzenta encontramos apenas um artigo que compara três técnicas por meio de uma pesquisa de opinião sobre a qualidade visual de espécimes.¹³⁹ Os autores encontraram, após análise estatística, que a técnica de Barnard, Robert e Brown apresentou-se superior às demais, porém eles concordam com a necessidade de mais critérios para essa definição. Fizemos a opção pela técnica de Mulligan, embora mais trabalhosa, por requerer três soluções, uma delas aquecida, devido à experiência do autor com a mesma técnica.¹⁴⁰

A dissecação de fibras brancas pode ser realizada em espécimes fixados em formol, sem passar pelo congelamento ou pela tradicional técnica de Klinger quando o objetivo não é a exibição do espécime, mas apenas o estudo dos feixes de fibras.^{141,142}

6.2 Discussão sobre a técnica de aquisição de imagens

Segundo Konrad, o eixo convergente leva a problemas de distorção (“Keystone”) decorrentes de um desalinhamento vertical ao se conformatarem as imagens, levando a um desconforto para o observador.^{118, 143} Neste estudo observamos que as imagens obtidas com menores ângulos de deslocamento (5°) apresentavam menores distorções que aquelas em deslocamento maior (15°). Da mesma forma, a aquisição a partir do deslocamento em eixo paralelo causa uma deformação, denominada de “Frustum”. Esta deformação requer que parte da imagem seja cortada de forma a apresentar um campo de visão comum, removendo-se então aquele pequeno pedaço de imagem que não é comum às duas fotografias.¹¹⁸ Nossas imagens foram lançadas no *software* sem ajustes ou recortes, houve desalinhamento vertical com desconforto, sem queixa específica da qualidade das imagens, mas implícito na queixa de cansaço visual realizada por quatro alunos participantes do grupo 3 (aula com estereoscopia).

Desenvolvemos uma plataforma manual própria, desenhada pelo autor e seu orientador, que permitiu além do movimento circular manual em 360° do objeto, a estabilização da estrutura e um acesso amplo do usuário às suas laterais para posicionamento e ajustes da máquina e da iluminação artificial. A plataforma foi desenvolvida com madeira e fórmica preta o que facilitou o trabalho com as imagens no processo de editoração. Há orientação para que, na aquisição de fotografias, o fundo contraste com o objeto, ou seja, objetos escuros deveriam ser obtidos com fundo claro e vice-versa para a melhor qualidade da visualização da imagem. Tendo em vista que os espécimes eram, em sua maioria absoluta, claros, fizemos a opção pela cor preta da plataforma, o que em muito facilitou o trabalho da editoração.

Para a produção de estereopares fizemos a opção pela utilização do *software Stereo Photo Maker* que oferece, além dos anáglifos, várias opções para visualização, como, por exemplo, *shutter glasses* e projeção polarizada, além de diversos recursos para edição. As imagens foram apresentadas em um sistema anáglifo tendo em vista principalmente a redução do custo. A vantagem desse sistema é que ele pode ser exibido com apenas um projetor,

não necessita de tela especial metalizada e os óculos são passivos, sem infravermelho ou cabos. A imagem estereoscópica em anáglifo pode ser impressa ou visualizada em um monitor comum de computador pessoal. A desvantagem do sistema é que as cores da imagem ficam prejudicadas em virtude dos filtros de cor para que o sistema funcione, o que prejudica um pouco a qualidade vista em três dimensões.¹¹⁸

Trelease, professor associado de anatomia da Universidade da Califórnia de Los Angeles, e colaboradores, publicaram em 2000, uma revisão sugerindo a possibilidade de utilização do QuickTime® para visualização de estruturas anatômicas sugerindo sua aplicação para o ensino.³⁷ Espécimes dissecados como o joelho e a mão de um cadáver, bem como imagens obtidas de um microscópio em estudos histológicos foram fotografadas em uma plataforma criada pelos autores a partir de uma modificação de uma plataforma comercial.³⁷

Henn e colaboradores, em 2002, utilizando um microscópio robótico com movimento controlado pelo operador, adquiriram imagens de anatomia (crânio) e de procedimentos cirúrgicos as quais foram copiadas e transformadas em imagens de computação gráfica, de forma a permitir que algumas estruturas superficiais ficassem transparentes, por exemplo, o couro cabeludo, e outras, mais profundas, visíveis, como o crânio ou encéfalo⁴. Essas imagens eram visualizadas através de *shutter glasses* pelo usuário. Utilizou-se de *software* próprio, com propriedades de interatividade e outros benefícios como, por exemplo, voz e identificações. O *software* desenvolvido não se encontra disponível no mercado e a tecnologia utiliza microscópio e computação gráfica o que encarece a construção da plataforma.

Em 2004, também no Barrow Neurological Institute, Balogh e colaboradores, documentaram, por meio de imagens microscópicas obtidas por microscópio robótico, etapas de procedimentos cirúrgicos, como feito em 2002.³⁸ Os autores discutiram uma provável superioridade do formato QTVR estereoscópico sobre os vídeos comumente obtidos das cirurgias. Os autores finalizam seu artigo questionando a existência de benefício real da utilização da realidade virtual no ensino.³⁸

6.3 Discussão sobre a avaliação da ferramenta de ensino

O estudo de Trelease, utilizando o QTVR com imagens sequenciais bidimensionais em 2000 e os estudos realizados por Hennis, em 2002, e por Balogh em 2004, utilizando imagens estereoscópicas microscópicas de procedimentos cirúrgicos, indagam sobre o papel da realidade virtual no ensino, questão ainda não esclarecida no tocante à estereoscopia, interatividade e neuroanatomia.^{4,37-38} Neste estudo nós utilizamos uma tecnologia de realidade virtual comercialmente disponível, de baixo custo, acessível para os computadores pessoais, o que permitiu, a partir de uma estratégia de aquisição de peças anatômicas, dissecações tradicionais e utilização de técnicas neuroanatômicas, criar e implementar uma ferramenta de ensino inovadora, realística que possibilita a visualização da complexa neuroanatomia de forma eficiente, com interatividade e visão tridimensional, mostrando-se superior quando comparada aos métodos tradicionais ($p>0,05$).

Todos os grupos apresentaram ganho com a aula, porém aqueles que se submeteram à ferramenta interativa apresentaram ganho superior (Gráfico 1). Intuitivamente esperávamos que a estereoscopia fosse superior à interatividade tridimensional não estereoscópica. Nossos resultados evidenciaram que, entre os dois grupos que usaram a ferramenta, com e sem estereoscopia, não houve diferenças significativas. Talvez a dificuldade de alguns alunos com a visualização estereoscópica tenha contribuído desfavoravelmente para os resultados.

Em 2006 Balogh e colaboradores, utilizando um microscópio robótico e imagens de microscopia, criaram um modelo volumétrico usando um processo de construção em multicamadas.³⁹ Esse recurso permite ao usuário explorar o campo cirúrgico na sequência de passos do procedimento cirúrgico, ainda sem a experiência tátil. Os autores presumem que, no futuro, aprimoramentos dessa tecnologia possibilitarão a substituição do cadáver.³⁸

Nosso estudo não objetivou construir uma ferramenta para substituir o cadáver, fomos específicos na criação e avaliação de uma ferramenta, com inovações da tecnologia da realidade virtual, para ser aplicada no ensino teórico. Entendemos que a tecnologia aplicada neste estudo e nos estudos

encontrados em nossa revisão não promove uma verdadeira simulação da aula prática, com experiência háptica e de imersão. Dessa forma, não oferecemos espécimes anatômicos para visualização prévia à aula, pois o contato visual com esses poderia favorecer a memorização de suas estruturas e interferir positivamente nos resultados obtidos. Os espécimes anatômicos foram utilizados na avaliação do conhecimento dos grupos, após a aula teórica, com o intuito de compará-los, uma vez que a aula com exposição de imagens objetiva a aquisição do conhecimento que permite a identificação das estruturas diretamente no espécime. Observamos que a ferramenta mostrou-se superior na identificação quando comparada com o método tradicional ($p < 0,05$). Tomamos o cuidado de apresentar os mesmos espécimes em todas as aulas e da mesma forma na prova prática.

Não encontramos estudos que avaliem a aplicação de ferramentas virtuais estereoscópicas no ensino da neuroanatomia microscópica ou macroscópica. Como também não encontramos publicações de ferramentas realísticas, tridimensionais, interativas e estereoscópicas, construídas, avaliadas e disponibilizadas para o ensino da neuroanatomia ao aluno da graduação.

Muitos autores têm estudado o papel do ensino da neuroanatomia auxiliado pelo computador em laboratórios de realidade virtual como apoio ou substituto ao ensino tradicional. Elizondo-Omaña e colaboradores, em 2004, compararam um grupo de alunos que receberam o ensino tradicional, em anatomia geral e neuroanatomia especificamente, utilizando livro texto de referência, laboratório para estudo das peças anatômicas e aulas com slides, a um grupo de alunos denominado convencional modificado, o qual recebeu o ensino tradicional acrescido de aulas em um laboratório de realidade virtual.¹⁰⁴ O laboratório virtual oferecia 24 computadores e disponibilizava aulas e uma ferramenta multimídia bidimensional, criada pelo autor do artigo, além de alguns atlas comerciais. Essa ferramenta foi aplicada como apoio ao ensino tradicional. Os autores observaram que o método tradicional auxiliado pelo laboratório virtual é uma opção significativamente superior ao método tradicional isolado. Uma crítica é que o estudo foi retrospectivo e os alunos que utilizaram o laboratório virtual tiveram horas extras de estudo quando

comparados ao grupo controle.¹⁰⁴ Em nosso estudo a ferramenta foi aplicada de forma isolada, mostrando-se capaz de substituir o método tradicional com ganhos na aquisição do conhecimento.

Lamperti e Sadicoff, em 1997, criaram um laboratório de neuroanatomia baseado em computação e um recurso didático multimídia.¹⁰³ O recurso multimídia foi construído a partir de fotografias bidimensionais de cortes de encéfalos e peças dissecadas que eram digitalizadas usando o software multimídia (tool book – Asymetrix) e finalmente compondo um atlas computadorizado e um guia de laboratório com secção e casos clínicos. Para avaliar a efetividade da sua ferramenta compararam-na com o ensino tradicional aplicando-a no curso de graduação, na disciplina de neuroanatomia. A utilização do programa de computação não alterou o desempenho dos alunos quando comparado com o ensino tradicional, deixando claro que sua efetividade é semelhante à do ensino tradicional, com algumas vantagens no que diz respeito à participação ativa dos alunos na construção do conhecimento e uma maior interatividade entre eles.

Uma crítica ao trabalho foi a ausência de um grupo controle prospectivo, uma vez que os resultados obtidos com o recurso multimídia foram comparados ao desempenho dos alunos de anos anteriores, os quais haviam recebido aulas somente com os recursos tradicionais. Esses autores criaram um recurso multimídia que possibilita o aprendizado sem o auxílio do professor, dando liberdade e autonomia aos alunos, porém limitados pelo próprio conteúdo do recurso multimídia, que não era interativo, estereoscópico, mas com imagens planas convencionais de espécimes dissecados. A inovação foi o fato de permitir ao aluno seguir as instruções e aprender de forma proativa.

Entendemos que a nossa ferramenta de ensino trata-se de uma organização do mesmo acervo utilizado para elaborar as aulas convencionais e os recursos didáticos multimídia para ensino sem o professor (fotos bidimensionais, com imagens fixas, de ângulo visual de interesse), porém em quantidades muito maiores de ângulos de visão e de fotografias. Além disso, as múltiplas imagens, mesmo não fundidas como um filme linear permite que o usuário as visualizem como um único objeto contínuo, soma de inúmeras imagens isoladas pareadas, unidas de forma não linear umas as outras, que,

ao se moverem, guiadas pelo usuário por meio da interatividade, expõem a visão de todas as partes da peça de forma não decomposta, permitindo uma visão de movimento regular das diversas superfícies cerebrais em um contínuo tridimensional.

O método por nós utilizado na criação dessa ferramenta permite a construção do objeto conforme a intenção do autor que, ao proceder à dissecação, tem condições de mostrar as estruturas de interesse e sua correlação com as estruturas vizinhas, e literalmente navegar pela imagem durante a aula. Não acrescentamos textos à ferramenta nesse momento, pois o objetivo foi o de avaliar a forma de projeção, a interatividade e a tridimensionalidade, já que o conteúdo em texto poderia afetar a atenção dos alunos e interferir nos resultados.

Levinson e colaboradores, em 2007, realizaram um estudo avaliando os efeitos de um aprendizado controlado pelo aluno versus programador.¹⁴⁴ Ao se utilizarem de múltiplas imagens ou imagens chaves, observaram melhor desempenho quando o controle é feito pelo programador utilizando de imagens chaves, concluindo que múltiplas imagens podem prejudicar o aprendizado. Em nosso estudo, as imagens são múltiplas, mas a sequência das imagens é interpretada pelo cérebro como um contínuo. Nossa ferramenta foi construída de forma que as múltiplas imagens são fundidas dando então a visão de um único objeto que pode ser movido em um contínuo sem interrupções. Dessa forma a fusão das imagens obtidas de ângulos diferentes leva a uma única imagem virtual, o computador faz a fusão, não exigindo do cérebro humano esse trabalho exigido pelos outros autores.

Diferentes ferramentas têm sido desenvolvidas e aplicadas no ensino da neuroanatomia. Nos últimos anos têm sido utilizados em algumas escolas recursos didáticos como o “brain storming”, apresentações animadas, leituras com exercícios conceituais, vídeos educacionais e programas de computadores multimídia para anatomia.^{95-99,103} Ferramentas com possibilidade de aplicação ao ensino da neuroanatomia utilizando realidade virtual foram desenvolvidas, porém aplicadas à anatomia microcirúrgica, restrita ao campo cirúrgico e voltada para o especialista.³⁷⁻³⁹ Observamos uma lacuna no que tange aos estudos com realidade virtual, imagens tridimensionais e interativas

estereoscópicas aplicadas à ciência básica e aos alunos da graduação. Este estudo vem ocupar essa lacuna uma vez que a ferramenta desenvolvida apresenta o conteúdo da neuroanatomia básica e foi aplicada aos alunos da graduação.

O processo pelo qual as relações espaciais são aprendidas permanece pouco claro e as decisões sobre o *design* e qual material (cadáver, modelos plásticos, modelos computacionais, atlas ilustrativos) deverá ser utilizado são tomadas sem esse conhecimento, fundamentadas em poucos estudos e na tradição da dissecação, berço da anatomia.¹⁴⁴ Esses materiais variam quanto a sua dimensão (bidimensionais ou tridimensionais), grau de abstração (peça anatômica ou desenho) e a possibilidade de permitir visão de múltiplos ângulos, por exemplo, os atlas típicos de neuroanatomia apresentam suas ilustrações com visões superior, inferior, lateral e medial já que o objeto real possui muito mais perspectivas que simplesmente estas quatro. Utilizam janelas com textos descritivos das estruturas e explicitações sobre a sua função. Neste estudo os termos utilizados foram retirados da terminologia anatômica e apresentados apenas de forma verbal.¹⁴⁵ Parece evidente que o aluno iria se beneficiar da capacidade de um *software* apresentar a visualização de uma estrutura em múltiplas orientações espaciais como demonstrado neste estudo, e não obrigatoriamente do fato de ser estereoscópico e estar como que flutuando no espaço.

7 CONCLUSÃO

Esta tese apresentou o processo de construção e avaliação de uma ferramenta de ensino tridimensional, estereoscópica e interativa para o estudo da neuroanatomia. O método apresentado propiciou ganho de conhecimento e rendimento pedagógico significativamente superior quando comparado com o tradicional.

REFERÊNCIAS

- 1- Drake RL, McBride JM, Lachman N, Pawlina W. Medical Education in the Anatomical Sciences: The Winds of Change Continue to Blow. *Anat Sci Educ* 2009;2:253-59.
- 2- Aziz MA, McKenzie JC, Wilson JS, Cowie RJ, Ayeni SA, Dunn BK. The human cadaver in the age of biomedical informatics. *Anat Rec (New Anat)* 2002;269:20-32.
- 3- Figueiredo EG, Faria JW, Ballester G, Teixeira MJ. Quick-Time VR TM: When medical education meets virtual reality. *Rev Med (São Paulo)* 2009 July/Dec;88(3/4):175-80.
- 4- Henn JS, Lemole GM, Ferreira MAT, Gonzáles LF, Schornak M, Preul MC, et al. Interactive stereoscopic virtual reality: a new tool for neurosurgical education technical note. *J Neurosurg* 2002 Jan;96(1):144-9.
- 5- Machado A. Neuroanatomia funcional. 2a ed. São Paulo: Atheneu; 2000.
- 6- Brodal A. Anatomia neurológica com correlações clínicas. 3a ed. São Paulo: Roca; 1995.
- 7- Meneses MSM. Neuroanatomia aplicada. 3a ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2011.
- 8- Gould DJ, Brueckner JK. Sidman's neuroanatomy: a programmed learning tool. 2nd ed. New York: Lippincott Williams & Wilkins; 2008.
- 9-Haines DE. Neurociência fundamental para aplicações básicas e clínicas. 3a ed. Rio de Janeiro: Lippincott Williams & Wilkins; 2004.
- 10- Ozols I, Furn R. editors. Grays' Anatomy - The anatomic bases of the clinical Practice. 39th ed. Philadelphia: Elsevier; 2005.
- 11- Carneiro MA. Atlas e texto de neuroanatomia. 2a ed. Barueri: Manoele; 2004.
- 12- Haines DE. Neuroanatomy an Atlas of structures, sections, and systems. 6th ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2006.
- 13- Netter FH. Atlas de anatomia humana. 4th ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2008.
- 14- Schunke M, Schulte E, Schumacher U. Prometheus Atlas de anatomia: cabeça e neuroanatomia. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2007.

- 15- Afifi AK, Bergman RA. Neuroanatomia funcional: texto e atlas. 2nd ed. São Paulo: Roca; 2008.
- 16- Netter FH. Atlas de anatomia humana. 5th ed. Rio de Janeiro: Elsevier; 2011.
- 17- Bruni JE, Montemurro DG. Human Neuroanatomy. New York: Oxford; 2009.
- 18- Rohen JW, Yokochi CMD, Lutjen Drecoll E. Anatomia humana atlas fotográfico de anatomia sistêmica e regional. 4th ed. São Paulo: Manole; 1998.
- 19- Rhoton Jr AL. Cranial Anatomy and Surgical Approaches. Rio de Janeiro: Di Livros; 2009.
- 20- Winkelmann A. Anatomical dissection as a teaching method in medical school: a review of the evidence. Medical Education 2007;41:15-22.
- 21- Granger NA. Dissection Laboratory Is Vital to Medical Gross Anatomy Education. Anat Rec (Part B: New Anat) 2004;281B:6-8.
- 22- McLachlan JC, Pattern D. Anatomy Teaching: ghosts of the past, present and future. Med Educ 2006;40:243-53.
- 23- Akbar-Khanzadeh F, Vaquerano MU, Akbar-Khanzadeh M, Bisesi MS. Formaldehyde exposure, acute pulmonary response, and exposure control options in a gross anatomy laboratory. Am J Ind Med. 1994 Jul;26(1):61-75.
- 24- Chia SE, Ong CN, Foo SC, Lee HP. Medical students' exposure to formaldehyde in a gross anatomy dissection laboratory. J Am Coll Health. 1992 Nov;41(3):115-9.
- 25- Ohmichi K, Komiyama M, Matsuno Y, Takanashi Y, Miyamoto H, Kadota T, et al. Formaldehyde exposure in a gross anatomy laboratory--personal exposure level is higher than indoor concentration. Environ Sci Pollut Res Int. 2006 Mar;13(2):120-4.
- 26- McLachlan JC, Bligh J, Bradley P, Searle J. Teaching anatomy without cadavers. Med Educ 2004;38:418-24.
- 27- Rek DD, Lu AB, Elebi SU. Infective Agents in Fixed Human Cadavers: A Brief Review and Suggested Guidelines. Anat Rec (New Anat.) 2002;269:194-7.
- 28- ADAM Interactive Atlas. [CD-ROM]. Jaipur: Techno Softwares; 2004.
- 29- Chao LW, Böhm GM. Projeto Homem Virtual [Internet]. 2003 [cited 2009 Jan]. Available from: <http://www.projeto homem virtual.com.br>.
- 30- Monteiro BS, Milane CO, Valdek ILL, Cunha, RMM, Machado LS. Anatomia 3D: um atlas digital baseado em realidade virtual para ensino de medicina

[Internet]. [2006] [cited 2009 Jan]. Available from: http://www.di.ufpb.br/liliane/publicacoes/2006_svr1.pdf.

31- Machado LS, Campos SF, Cunha ILL, Moraes RM. Cybermed: realidade virtual para ensino médico. IFMBE Proc 2004;5(1):573-6.

32- Hirsch MC, Kramer T. Neuroanatomy: 3D- Stereoscopic Atlas of the Human Brain. Vol. 1. Berlin: Springer; 1999.

33- Lemole Jr GM, Banerjee PP, Luciano C, Neckrysh S, Charbel FT. Virtual reality in neurosurgical education: part-task ventriculostomy simulation with dynamics visual and haptic feedback. Neurosurgery 2007;61:142-8.

34- Kokro RA, Serra L, Tseng-Tsai Y, Chan C, Yih-Yian S, Gim-Guan C, et al. Planning and simulation of neurosurgery in a virtual reality environment. Neurosurgery 2000;46:118-35.

35- Zamorano L, Jiang Z, Kadi M. Computer-assisted neurosurgery system: Wayne State University hardware and software configuration. Comput Med Imag Graph 1994;18:257-71.

36- Rosahl SK, Gharabaghi A, Hubbe U, Shahidi R, Samii M. Virtual reality augmentation in skull base surgery. Skull Base 2006;16:59-66.

37- Trelease RB, Nieder GI, Dorup J, Hansen MS. Going virtual with QuickTime VR: new methods and standardized tools for interactive dynamic visualization of anatomical structures. Anat. rec., Part B, New Anat 2000;261:64-77.

38- Balogh AA, Preul MC, Schornak M, Hickman M, Spetzler RF. Intraoperative stereoscopic QuickTime Virtual Reality. J Neurosurg 2004 Apr;100(4):591-6.

39- Balogh AA, Preul MC, László K, Schornak M, Hickman M, Deshmukh P, et al. Multilayer image grid reconstruction technology: four-dimensional interactive image reconstruction of microsurgical neuroanatomic dissections. J Neurosurg 2006 Feb;58 2 Suppl:157-65.

40- Eberval GF, Mark CP, Joseph MZ, Puspha D, Robert FS. An Innovative Virtual Reality for Neuroanatomical Images [Internet]. American Association of Neurological Surgeons; 2005. [cited 2009 Jan]. Available from: www.aans.org/library/article.aspx?ArticleId=24878.

41- Shimizu S, Tanaka R, Rhoton Jr. AL, Fukushima Y, Osawa S, Kawashima M, et al. Anatomic dissection and classic three dimensional documentation: a unit of education for neurosurgical anatomy revisited. Neurosurgery 2006;58:1.000-2.

42- Ribas GC, Bento RF, Rodrigues Jr AJ. Anaglyphic 3D stereoscopic printing: revival of an old method for anatomical and surgical teaching and report. J Neurosurg 2001;95(6):1057-66.

- 43- Ribas GC, Ribas EC, Rodrigues Jr AJ. O cérebro, a visão tridimensional, e as técnicas de obtenção de imagens estereoscópicas. *Rev Med (São Paulo)* 2006a;85(3):78-90.
- 44- Meneses MS, Cruz AV, Castro IA, Pedrozo AA. Estereoscopia aplicada à neuroanatomia. Estudo comparativo entre as técnicas de filtro de cores e de polarização. *Arq Neuropsiquiatr* 2002;60(3-B):769-74
- 45- Dicionário etmológico [Internet]. [cited 2009 Jan]. Available from: <http://www.dicionarioetmológico.com.br>
- 46- Medical etymology: anatomy [Internet]. [cited 2009 Jan]. Available from: <http://www.emory.edu/ANATOMY/AnatomyManual/Etymology.html>.
- 47- Prestigiacomo CJ. Why study early history of neurosurgery? *Neurosurg Focus* 2007;23(1):E(intro).
- 48- Finger S. *Origins of Neuroscience: A History of Explorations into Brain function*. 1st ed. Oxford: Oxford University Press; 1994 Jan 15.
- 49- Sanchez GM, Burridge AL. Decision making in head injury management in the Edwin Smith Papyrus. *Neurosurg Focus* 2007;23(1):E5.
- 50- Naderi S, Türe U, Glenn Pait T. History of spinal cord localization. *Neurosurg Focus* 2004;16(1):1-6.
- 51- Gusmão S. *Neurologia e neurocirurgia na arte*. Neurology and Neurosurgery in Arts. Belo Horizonte: Folium Editorial; 2008.
- 52- Sahlas DJ. Functional Neuroanatomy in the Pre-Hippocratic Era: Observations from the Iliad of Homer. *Neurosurgery* 2001;48(6):1.352-7.
- 53- Tubbs RS, Loukas M, Shoja MM, Cohen-Gadol AA, Wellons III JC, Oakes WJ. Roots of Neuroanatomy, Neurology, and Neurosurgery as found in the Bible and Talmud. *Neurosurgery* 2008;63(1):156-638.
- 54- Shetty VR, Mindea SA, Batjer HH. The Management of Cranial Injuries in Antiquity and Beyond. *Neurosurg Focus* 2007;23(1):E8.
- 55- Dimopoulos VG, Kapsalakis IZ, Fountas KN. Skull morphology and its neurosurgical implications in the Hippocratic Era. *Neurosurg Focus* 2007;23(1):E10.
- 56- Tomey MI, Komotar RJ, Mocco J. Herophilus, Erasistratus, Aretaeus, and Galen: ancient roots of the Bell-Magendie Law. *Neurosurg focus* 2007;23(1):E12.

- 57- Awad IA. Historical Vignette Galen's anecdote of the fallen sophist: on the certainty of science through anatomy. *J Neurosurg* 1995;83:929-32.
- 58- Mlssios S. Hippocrates, Galen, and the uses of trepanation in the ancient classical world. *Neurosurg Focus* 2007;23(1):E11.
- 59- Rahimi SY, McDonnell DE, Ahmadian A, Vender JR. Medieval neurosurgery: contributions from the Middle East, Spain, and Persia. *Neurosurg Focus* 2007;23 (1):E14.
- 60- Rengachary SS, Colen C, Dass K, Guthikonda M. Development of anatomic science in the late middle ages: The roles played by mondino de Liuzzi and Guido da Vigevano. *Neurosurgery* 2008;65:787-94.
- 61- Frati P, Frati A, Salvati M, Marinozzi S, Frati R, Angeletti LR, et al. Historical vignette Neuroanatomy and cadaver dissection in Italy: history, medicolegal issues, and neurosurgical perspectives. *J Neurosurg* 2006;105:789-96.
- 62- Cavalcanti DD, Feindel W, Goodrich JT, Forcht Dagi T, Prestigiacomo CJ, Preul MC. Anatomy, technology, art, and culture: toward a realistic perspective of the brain. *Neurosurg Focus* 2009;27(3):E2.
- 63- Leva AM, Tschabitscher M, Prada F, Gaetani P, Aimar E, Pisano P, et al. The neuroanatomical plates of Guido da Vigevano. *Neurosurg Focus* 2007;23(1):E15.
- 64- Friedenthal R. Leonardo Da Vinci: uma biografia ilustrada. Rio de Janeiro: J. Zahar; 1998.
- 65- Andrioli G, Trincia G. Padua: the renaissance of human anatomy and medicine. *Neurosurgery* 2004;55:746-55.
- 66- Molnár Z. Thomas Willis (1621–1675), the founder of clinical neuroscience. *Nat Rev Neurosci* 2004 Apr.;5:329-35.
- 67- Ellis H, Lo WB. The circle Before Willis: A Historical Account of the Intracranial Anastomosis. *Neurosurgery* 2010;66:7-18.
- 68- Hildebrand R. Soemmerring's Work on the nervous sustem: a view on brain structure and function from the late eighteenth century. *Anat Embryol* 2005;210:337-42.
- 69- Maehle AH. Samuel Thomas Soemmerring in Kassel (1779-1784). *Med Hist* 1996;40(1):123-4.
- 70- Schott GD. Colored Illustations of the Brain: Some conceptual and Contextual Issues. *The Neuroscientist* 2010;16(5):508-18.

71- Moon K, Filis AK, Cohen AR. The Birth and evolution of Neuroscience through cadaveric dissection. *Neurosurgery* 2010;67:799-810.

72- Bardeen CR. Anatomy in America. *Bull Univ Wis* 1905;115:87-205.

73- Bardeen CR. Report of the sub-committee on anatomy to the Council of Medical Education of the American Medical Association. *Anat Rec* 1909;3:415-39.

74- Eldred E, Eldred B. Supply and demand for faculty in anatomy. *J Med Educ* 1961;36:134-47.

75- Flexner A. Medical Education in the United States and Canada: A Report to the Carnegie Foundation for the Advancement for Teaching [Internet]. New York: The Carnegie Foundation for the Advancement of Teaching; 1910. Carnegie Bulletin 4. [cited 2009 Sept 10]. Available from: http://www.carnegiefoundation.org/files/elibrary/Carnegie_Flexner_Report.pdf .

76- Reid WD. The curriculum. *Bull Am Assoc M Coll* 1931;6:283-4.

77- Zapffe FC. A proposed new curriculum. *Bull Am Assoc M Coll* 1927;2:322-49.

78- McLaren DS. What to do about basic medical science. *Br Med J* 1980;281:171-2.

79- McCrorie P. The place of the basic sciences in medical curricula. *Med Educ* 2000;34:608-13.

80- Marks SC, Cahill DR. Teaching and learning anatomy in medicine. *Clin Anat* 1988;1:3-5.

81- Aziz MA, McKenzie JC, Wilson JS, Cowie RJ, Ayeni SA, Dunn BK. The human cadaver in the age of biomedical informatics. *Anat Rec (New Anat)* 2002;269:20-32.

82- Schmidt H. Integrating the teaching of basic sciences, clinical biopsychosocial issues. *Acad Med* 1998;73:S24-S31.

83- Ling Y, Swanson DB, Holtzman K, Bucak SD. Retention of basic science information by senior medical students. *Acad Med* 2008;83:S82-S85.

84- Association of American Medical Colleges. Basic Science and Clinical Research. [Internet]. Washington, DC: Medical School Objective Project; 2001. Report IV Contemporary Issues in Medicine. [cited 2009 Sept. 10]. Available from: https://services.aamc.org/Publications/Index.cfm?fuseaction5Product.displayForm&prd_id5201&prv_id5242.

85- O'Connell MT, Pascoe JM. Undergraduate medical education for the 21st century: leadership and teamwork. *Fam Med* 2004;36:S51-S56.

86-Boon JM, Richards PA. Clinical anatomy as the basis for clinical examination: development and evaluation of an introduction to clinical examination in a problem-oriented medical curriculum. *Clin Anat* 2002;15:45-50.

87- Drake RL. Anatomy education in a changing medical curriculum. *Anat Rec* 1998; 253:28-31.

88- Vasan NS, DeFouw DO, Holland BK. Modified use of team-based learning for effective delivery of medical gross anatomy and embryology. *Anat Sci Educ* 2008; 1:3-9.

89- Chan LK, Ganguly PK. Evaluation of small-group teaching in human gross anatomy in a Caribbean medical school. *Anat Sci Educ* 2008;1:19-22.

90- Yiou R, Goodenough D. Applying problem-based learning to the teaching of anatomy: The example of Harvard Medical School. *Surg Radiol Anat* 2006;28:189-94.

91- Philip CT, Unruh KP, Lachman N, Pawlina W. An explorative learning approach to teaching clinical anatomy using student generated content. *Anat Sci Educ* 2008; 1:106-10.

92- Management Committee of the Anatomical Society of Great Britain and Ireland. Correspondence Undergraduate medical anatomy teaching. *J. Anat.* 1992;180:203-9.

93- Drake RL, Lowrie DJ, Prewitt CM. Survey of gross anatomy, microscopic anatomy, neuroscience, and embryology courses in medical school curricula in the United States. *Anat Rec* 2002;269:118-22.

94- Pereira JA, Meri A, Masdeu C, Molina-Tomas MC, Martinez-Carrio A. Using videoclips to improve theoretical anatomy teaching. *Eur. J. Anat.* 2004;8:143-6.

95- Carmichael SW, Pawlina W. Animated PowerPoint as a tool to teach anatomy. *Anat Rec (New Anat.)* 2000;261:83-8.

96- Mahmud W, Hyder O, Butt J, Aftab A. Dissection videos do not improve anatomy examination scores. *Anat Sci Educ* 2011;4:16-21.

97- Geuna S, Giacobini-Robecchi MG. The Use of Brainstorming for Teaching Human Anatomy. *Anat Rec (New Anat.)* 2002;269:214-6.

98- Krontiris-Litowitz J. Using truncated lectures, conceptual exercises, and manipulatives to improve learning in the neuroanatomy classroom. *Physiol Educ* 2008;32:152-6.

99- Schwartz EL. Computational anatomy and functional architecture of striate cortex: A spatial mapping approach to perceptual coding. *Vision Res* 1980;20:198-216.

100- Trelease RB. Anatomical informatics: Millennial perspectives on a newer frontier. *Anat Rec* 2002;269:224-35.

101- Van Sint Jan S, Crudele M, Gashegu J, Feipel V, Poulet P, Salvia P, et al. Development of multimedia learning modules for teaching human anatomy: Application to osteology and functional anatomy. *Anat Rec (New Anat)* 2003;272B:98-106.

102- Sugand K, Abrahams P, Khurana A. The anatomy of anatomy: A Review for its modernization. *Anat Sci Educ* 2010;3:83-93.

103- Lamperti A, Sodicoff M. Computer-Based Neuroanatomy Laboratory for Medical Students. *Anat Rec* 1997;249:422-8.

104- Elizondo-Omana RE, Morales-Gomez JA, Guzman SL, Hernandez IL, Ibarra RP, Vilchez FC. Traditional teaching Supported by Computer- Assisted Learning for Macroscopic Anatomy. *Anat Rec (Part B: New Anat)* 2004;278B:18-22, 2004.

105- Paalman MH. Why teach anatomy? Anatomists respond. *Anat Rec (New Anat.)* 2000;261:1-2.

106- Eldred E, Eldred B. Supply and demand for faculty in anatomy. *J Med Educ* 1961;36:134-47.

107- Biasutto SN, Caussa LI, Esteban Criado del Rio L. Teaching anatomy: Cadavers vs. computers? *Ann Anat* 2006;188:187-90.

108- Rizzolo LJ. Human dissection: an approach to interweaving the traditional and humanistic goals of medical education. *Anat Rec* 2002;269:242-8.

109- Liberti, EA. A “Escola Anatômica de Alfonso Bovero”: de onde veio; para onde vai? *O Anatomista* 2010;1:4-9.

110- Jacobson L. Realidade virtual em casa. Rio de Janeiro: Berkeley; 1994.

111- Machado LS. Conceitos básicos da realidade virtual [monografia na Internet]. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais; 1995. [cited in 2009 Jan]. Available from: <http://www.lsi.usp.br/~liliane/conceitosrv.html>.

112- Pimentel K, Teixeira K. Virtual reality: through the new looking glass. 2nd ed. New York: McGraw-Hill; 1995.

- 113- Kocian DF. A visually-coupled airborne systems simulator (VCASS): An approach to visual simulation. Aerospace Medical Research Laboratory;1977.
- 114- Fisher SS, McGreevy M, Humpries J. Robinett W. Virtual Environment display system. NASA Ames Research Center. California: Moffett Field; 1986.
- 115- Kirner C. Evolução da Realidade Virtual no Brasil. Proceedings of the 10th Symposium on virtual and Augmented Reality; 2008; Porto Alegre, Brasil. Porto Alegre: SBC; 2008. v. 1; p. 1-11.
116. Latta JN, Oberg DJ. A conceptual virtual reality model. IEEE Comput Graph Appl 1994 Jan;14(1):23-9.
- 117- Reeve S, Flock J. Basic Principles of Stereoscopic 3D [Internet]. Senior Editors, BSKYB; 2010. [cited in 2009 Jan]. Available from: http://www.sky.com/shop/export/sites/www.sky.com/shop/___PDF/3D/Basic_Principles_of_Stereoscopic_3D_v1.pdf
- 118- Maschio VA. A estereoscopia: investigação de processo de aquisição, edição e exibição de imagens estereoscópicas em movimento [dissertação]. Bauru: Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho; 2008.
- 119- Wanzel KR, Hamstra SJ, Anastakis DJ, Matsumoto ED, Cusimano MD. Effect of visual-spatial ability on learning of spatially-complex surgical skills. Lancet 2002;359:230-1. Letter.
- 120- Li Y, Brodie K, Phillips N. Web-based VR training simulador for percutaneous rhizotomy. Stud Health Technol Inform 2002;85:261-7.
- 121- Lee CK, Tay LL, Ng WH, Ng I, Ang BT. Optimization of ventricular catheter placement via posterior approaches: a virtual reality simulation study. Surg Neurol 2008;70:274-7.
- 122- Christopher LA, William A, Cohen-Gadol AA. Future directions in 3-dimensional imaging and neurosurgery: stereoscopy and autostereoscopy. Neurosurgery. 2013 Jan;72 Suppl 1:131-8.
- 123- Kakizawa Y, Hongo K, Rhoton Jr AL. Construction of a three-dimensional interactive modelo f skull base and cranial nerves. Neurosugery 2007;60:901-10.
- 124- Vloeberghs M, Glover A, Benford S, Jones A, Wang P, Becker A. Virtual neurosugery training for the future. BR J Neurosurg 2007;21:262-7.
- 125- Sengupta A, Kesavadast T, Hoffman K, Baier R, Schafer S. Evaluating tool-artery interaction force during endovascular neurosurgery for developing haptic engine. Stud Health Technol Innform 2007;125:418-20.

- 126- D' Ambrosio AL, Mocco J, Hankinson TC, Bruce JN, Van Loveren HR. Quantification of the frontotemporal orbitozygomatic approach using a three-dimensional visualization and modeling application. *Neurosurgery* 2008;62 3 Suppl 1:251-60.
- 127- Malone HR, Syed ON, Downes MS, D'Ambrosio AL, Quest DO, Kaiser MG. *Neurosurgery*. Simulation in neurosurgery: a review of computer-based simulation environments and their surgical applications. 2010 Oct;67(4):1.105-16. Review.
- 128- Apuzzo MLJ. New dimensions of neurosurgery in the realm of high technology: possibilities, practicability, realities. *Neurosurgery* 1996;38:625-39.
- 129- Apuzzo MLJ. Reinventing neurosurgery: entering the third millennium. *Neurosurgery* 2000;46:1-2.
- 130- Stadie AT, Kokro RA, Reish R, Tropine A, Boor S, Stoeder P, et al. Virtual reality system for planning minimally invasive neurosurgery. Technical note. *J Neurosurg* 2008;108:382-94.
131. Apple Developer Connection. QuickTime: Leopard Guides [Internet]. 2009. [cited 2009 Jan]. Available from: <http://developer.apple.com/documentation/QuickTime/>.
- 132- Cavalli MA, Biasi C, Faria JWV, Takano APC, Bolina-Matos RS, Oliveira CCB, et al. Ensino de técnicas anatômicas no curso de pós-graduação em anatomia. *J Morphol Sci* 2011;28Supl:1-52.
- 133- Liberti EA, Boldrini SC. Técnicas anatômicas. São Paulo: Mallu Motta; 2010.
- 134- Rodrigues H. Técnicas anatômicas. 2a ed. Vitória: Arte Visual; 1998.
- 135- Krishnamurthy S, Powers SK. The use of fabric softener in neurosurgical dissections. *Neurosurgery* 1995;36:420-4.
- 136- O' Sullivan E, Mitchell BS. An improved composition for embalming fluid to preserve cadavers for anatomy teaching in the United Kingdom. *J Anat* 1993;182:295-7.
- 137- Tschernetzsky W. Restoration of the softness and flexibility of cadavers preserved in formalin. *Acta Anat* 1984;118:159-63.
- 138- Sanan A, Aziz KM, Janjua RM, Van Loveren HR, Keller JT. Colored silicone injection for use in neurosurgical dissections: anatomical Technical note. *Neurosurgery* 1999;45(5):1.267-71.
- 139- Meneses MS, Montano Pedroso JC, Fuzza RF, Milano JB. Análise comparativa de cortes de encéfalos humanos com coloração por três técnicas

diferentes. *Arq Neuro-Psiquiatr* [Internet]. 2004;62(2a):276-81. [cited in 2009 Jan]. Available from: <http://dx.doi.org/10.1590/S0004-282X2004000200016>.

140- Mulligan JH. A method of staining for macroscopic study. *J Anat* 1931;65:472-6.

141- Klinger J. Erleichterung der makroskopischen Präparation des Gehirns durch den Gefrierprozess. *Schweiz Arc Neurol Psychiat* 1935;36:247-56.

142- Instructional vídeo. Dissection of the human brain. Lennart Heimer. *Neurosurg Focus* 2005;18(6b):E4.

143- Konrad J. Enhancement of viewer comfort in stereoscopic viewing: parallax adjustment. *Proceedings of SPIE/IST symposium on electronic imaging, stereoscopic displays and virtual reality systems*. 1999. p. 179-190.

144- Levinson AJ, Weaver B, Garside S, McGinn H, Norman GR. Virtual Reality and brain anatomy: a randomized trial of e-learning instructional designs. *Medical Education* 2007;41:495-501.

145- Sociedade Brasileira de Anatomia. *Terminologia Anatômica*. São Paulo: Editora Manole LTDA; 2001.

APÊNDICE A – CD com amostra de imagens

Para sua melhor visualização, utilizar (abrir com) a plataforma Quick Time Player.

Download gratuito no endereço:
<http://www.apple.com/br/quicktime/download/>.

Utilizar óculos 3D anáglifo vermelho azul, em anexo.

APÊNDICE B - Texto da aula sorteada de Neuroanatomia

TEXTO DA AULA SORTEADA DE NEUROANATOMIA

O SISTEMA LÍMBICO COM ATENÇÃO À ANATOMIA MACROSCÓPICA DESCRITIVA E CORRELACIONAL.

Historicamente, o conhecimento da anatomia regional dos hemisférios cerebrais tem nos ajudado a entender os substratos anatômicos de diversas funções, tais como: motricidade e sensibilidade, emoções, aprendizado e memória.

Hoje iremos tratar de um sistema que integra atividades autonômicas, somáticas e viscerais relacionadas com sobrevivência, preservação da espécie, geração e expressão de comportamentos. Exemplo: motivação e emoção (nervoso, medo, etc.), humor (depressão, elation), estado afetivo (labile, flat) e cognição (memória e aprendizado) - O Sistema Límbico.

O SISTEMA LÍMBICO

O termo “límbico” é derivado do latim *limbus* e significa borda. Este termo foi introduzido na segunda metade do século XIX, em 1878, pelo neurologista e antropólogo francês Pierre Paul Broca. Ele descreveu “Le grande lobe limbique” são estruturas em formato de C, na superfície medial do cérebro que formam uma borda de córtex, contornando o diencéfalo e o tronco encefálico e que possuem um papel importante nas emoções.

Também no século XIX, o neuroanatomista alemão Alois Alzheimer identificou alterações patológicas características no encéfalo que estavam associadas à demência e, também, apontou estruturas do lobo límbico, como a formação hipocampal, associadas a funções cerebrais, tais como os pensamentos, memórias e aspectos de nossa personalidade.

Em 1937, James Papez, um americano neuroanatomista da Cornell University, observou alterações degenerativas dos encéfalos de vítimas de doenças

psiquiátricas em exames *post mortem*, no hipocampo, corpos mamilares, tálamo e cíngulo, e propôs que estruturas telencefálicas e diencefálicas estavam ligadas por um conjunto de conexões, constituindo um circuito anatômico para as emoções.

COMPONENTES DO SISTEMA LÍMBICO:

A-Componentes superficiais: estruturas em formato de “C” na superfície medial do cérebro que formam uma borda de córtex, contornando o diencefalo e o tronco encefálico.

Córtex associativo pré-frontal (Giro paraterminal e paraolfatório)

Giro do cíngulo

Istmo do cíngulo

Giro parahipocampal

Uncus

B- Componentes mais centrais (estruturas subcorticais):

Núcleo amigdalóide

Hipocampo

Giro denteado

Subículo.

C- Fibras que conectam estas estruturas e outras estruturas correlacionadas:

Fórnice/Comissura do fórnice

Estria longitudinal lateral e medial/ Giro fasciolar/ Indúsio cinzento

Comissura anterior

Trato mamilotalâmico

Estria medular do tálamo

Estria terminal

Núcleos do tálamo/hipotálamo

Complexo estriado palidal ventral

Núcleo tegmentar ventral

Componentes superficiais: estruturas em formato de “C” na superfície medial do cérebro que formam uma borda de córtex, contornando o diencéfalo e o tronco encefálico.

(Lobo Frontal, Parietal e Temporal)

Córtex associativo pré-frontal

Área subcalosa: área esbranquiçada, vertical e delgada, anterior à lâmina terminal e à comissura anterior; é ventral ao rostro do corpo caloso, considerada como uma extensão do septo pelúcido; também denominada giro subcaloso.

Giro paraterminal: localizado na área subcalosa, inferiormente ao rostro do corpo caloso, à frente da lâmina terminal, separado da área paraolfatória pelo sulco paraolfatório posterior.

Giro paraolfatório: localizado na área subcalosa, entre o sulco paraolfatório posterior e anterior (GPO anterior) e atrás do sulco paraolfatório posterior e à frente da lâmina terminal (GPO posterior).

Giro do cíngulo (Lat. cingulum, cintura.): contorna o corpo caloso e continua com o giro parahipocampal, através de um estreitamento denominado istmo do giro do cíngulo. É delimitado acima pelo sulco do cíngulo e abaixo pelo sulco do corpo caloso. Há um feixe de fibras, o fascículo do cíngulo, que se dispõe internamente ao giro parahipocampal.

Istmo ou córtex retroesplenial (Gr.: ismos, passagem estreita): estreitamento do Giro do Cíngulo, localizado posteriormente ao esplênio do corpo caloso; liga o giro do cíngulo ao giro parahipocampal. Esse estreitamento é produzido pela extensão anterior dos sulcos parieto-occipital e calcarino.

Giro parahipocampal: giro da face inferior e medial do lobo temporal, localizado entre o sulco colateral e o sulco do hipocampo. Sua porção anterior se curva em torno do sulco do hipocampo para formar o unco. Continua posteriormente com o giro occipito temporal medial (giro lingual) e com o giro do cíngulo (através do istmo do cíngulo). O Giro parahipocampal recobre o Hipocampo e o Giro denteado.

Segmentos do Giro Parahipocampal:

1- Posterior (subículo)

2- Anterior (Lobo Piriforme: unco e área entorrinal que corresponde à área 28 de Brodmann e tem à dissecação um aspecto salpicado, “em casca de laranja”).

Uncus: visto de sua face inferior, apresenta a forma de um V em posição horizontal, com o ápice apontado medialmente, um segmento anterior e um segmento posterior.

Segmento anterior: apresenta acima o giro semilunar e abaixo, o giro ambiente, sendo esses dois giros separados pelo sulco semianular. O giro semilunar cobre o núcleo cortical da amígdala e é separado da substância perfurada anterior pelo sulco entorrinal.

Componentes mais centrais do Sistema Límbico

Núcleo amigdalóide (Gr.amygdale, amêndoa; eidos, semelhante.): massa esférica de substância cinzenta de cerca de dois centímetros de diâmetro situada na extremidade anterior do Giro Parahipocampal (Unco), em relação com a cauda do núcleo caudado. É constituído de vários núcleos e a maioria de suas fibras eferentes agrupa-se em um feixe compacto, a estria terminal, que acompanha a curvatura do núcleo caudado e termina principalmente no tálamo. Apresenta conexões aferentes com o trato olfatório e eferentes com o hipotálamo e o tálamo.

Estria terminal: pequeno feixe de fibras que conecta os corpos amigdalóides com o hipotálamo e outras estruturas basilares do telencéfalo. Origina-se no corpo amigdalóide, cursa posteriormente no teto do corno temporal do ventrículo lateral, acompanhando a curvatura do núcleo caudado e marcando a linha de separação entre este e o tálamo. A seguir, curva-se para passar ventralmente no assoalho do corpo do ventrículo lateral, em um sulco entre o tálamo e o núcleo caudado (nesse sulco cursa também a veia tálamo estriada) até alcançar o forame interventricular, em cuja parede posterior, curva-se

acentuadamente para penetrar no hipotálamo. Também denominada tênia de Tarin (1700-1771; anatomista francês) ou tênia semicircular.

Hipocampo (Gr., hippokampos, cavalo marinho): o hipocampo propriamente dito corresponde a uma elevação curva e pronunciada, mais volumosa em sua porção anterior, disposta acima do giro parahipocampal, fazendo saliência no assoalho do corno inferior do ventrículo lateral. Sua face superior forma um grande relevo no assoalho do corno temporal, cuja superfície é denominada álveo. Termina anteriormente em forma de evaginações individuais que são denominadas digitações (dedos) do hipocampo. O conjunto destas digitações se assemelha a uma pata e recebe o nome de pé do hipocampo. O seu bordo interno, côncavo, está ligado à fímbria. Projeta-se para os corpos mamilares e a área septal através do fórnice. O hipocampo é também denominado de corno de Ammon devido à sua semelhança com o chifre de carneiro que ornamenta a estátua do Júpiter Ammon, no Egito.

Lorene de No (1934) descreveu no corno de Ammon quatro campos radiais, os campos do corno de Ammon CA1-CA4. O primeiro, designado CA1, é a continuação do subículo; o CA2 segue o anterior; o CA3 corresponde à curva ou joelho do corno de Ammon (ele entra na concavidade do giro denteado) e o último nomeado CA4, situa-se dentro da concavidade do giro denteado.

O hipocampo é dividido em cabeça, corpo e cauda. A cabeça é orientada transversalmente e é dilatada, conta com uma parte extra ventricular situada na porção posterior do Unco, que apresenta uma superfície inferior escondida no sulco uncal, e uma superfície medial exposta na face medial do lobo temporal. A superfície inferior fica escondida no sulco uncal, visível apenas após a retirada do giro parahipocampal (subjacente pelo sulco uncal), dividida em banda de Giacomini, digitações externas e superfície inferior do ápice uncal. A outra parte do hipocampo é constituída pelo corpo, ou seguimento médio, e este é orientado sagitalmente; e, por fim, vem a cauda, orientada transversalmente, desaparecendo sob o esplênio do corpo caloso.

Giro denteado (L., dentatus, semelhante a um dente): é separado do giro parahipocampal pelo sulco do hipocampo. Corresponde a uma fita estreita e denteada de substância cinzenta fixada na borda interna do hipocampo, entre a fímbria, localizada acima, e o Giro Parahipocampal, localizado abaixo.

Subículo (L., subicere, lift/ Lat. De subicere, suportar, estrutura que suporta)
 O Hipocampo é suportado pelo subículo, “o leito” do hipocampo, que faz parte do giro parahipocampal. O subículo é dividido em quatro seguimentos: 1- Pró-subículo, que continua CA1; 2- Subículo, propriamente dito, que compreende à face superior do giro parahipocampal, junto ao sulco hipocampal. 3- Pré-subículo, cujos pequenos e superficiais neurônios são organizados em cachos. 4- Parassubículo, que passa em torno da margem do giro parahipocampal para a área entorrinal, na face medial desse giro; é a transição para córtex entorrinal na face medial do GPH.

Fibras que interconectam estas estruturas:

10- Fórnice

Fórnix (Lat. Fornix, arco, abóbada): feixe de fibras em forma de arco que cursa em torno do tálamo na parede do ventrículo lateral. Conecta o córtex do hipocampo ao corpo mamilar; seu conjunto forma uma abóbada de quatro pilares ou um X com suas extremidades curvas. Apresenta um corpo, duas colunas e duas pernas.

10.1- Coluna do fórnix: porções anteriores do fórnice que, entre o forame interventricular e a comissura anterior, curvam-se para atravessar o hipotálamo e terminar nos corpos mamilares e na área septal. Fibras pré-comissurais: passam anteriormente a comissura anterior e segue a borda pósterio-inferior do septo pelúcido, passa à frente da comissura anterior e dirige-se à substância perfurada anterior, onde se une à estria diagonal.

10.2- Corpo do fórnix: constitui uma lâmina triangular de substância branca, ímpar e mediana, situada abaixo do corpo caloso e acima do tálamo, constituindo o teto do terceiro ventrículo. As duas metades se unem pela comissura do fórnix abaixo do corpo caloso, formando uma lâmina triangular. À medida que avança anteriormente, afasta-se do corpo caloso e dá inserção à borda inferior do septo pelúcido. Contribui para formar o assoalho do corpo do ventrículo lateral. Sua face inferior encontra-se sobre a tela corioidea, que a separa do tálamo e do terceiro ventrículo.

Comissura do fórnix: os dois fórnices se unem (comissura do fórnice) abaixo do corpo caloso, formando uma lâmina subcalosa triangular, na região do corpo ou porção intermédia do fórnice. Há fibras que se dispõem de forma a unir as porções crurais de ambos os fórnices, na verdade unindo, são fibras transversais que descrevem curvas de concavidade posterior, comparadas a cordas de uma lira, sendo denominadas pelos antigos anatomistas “fibras de lira”.

Tela corioidea do terceiro ventrículo: Formação de pia-máter que se insere, lateralmente, nas estrias medulares do tálamo e, posteriormente, na comissura das habênulas, fechando assim o teto do terceiro ventrículo. Situa-se imediatamente abaixo do fórnice, separando-o do tálamo e do terceiro ventrículo, também denominada velum interpositum.

10.3- Pilar do Fórnice: parte posterior do Fórnice que a partir do corpo se divergem e se dirigem posteriormente, penetram no corno temporal do ventrículo lateral e se unem ao hipocampo por meio da fímbria do hipocampo.

Fímbria do hipocampo (Lat. Fimbria, franja, borda): feixe de fibras situadas ao longo da borda medial do hipocampo. As fibras do álveo do hipocampo se unem para formar a fímbria do hipocampo que darão origem à perna do hipocampo. A borda interna da fímbria é livre e emerge na fissura transversa do cérebro (Fenda de Bichat). As fibras eferentes do Corno de Amon formam o Fórnix por meio da fímbria do hipocampo, o qual projeta as fibras para os corpos mamilares (hipotálamo) e núcleos anteriores do tálamo. Um contingente menor de fibras deixa a fímbria perto do esplênio do corpo caloso, constituindo o fórnice dorsal, cursando para frente com o giro fasciolar e as estrias longitudinais laterais e mediais, sobre a face superior do corpo caloso, conectando o hipocampo aos núcleos septais.

Estria longitudinal lateral: dois cordões longitudinais, de cor cinza de cada lado da face superior do corpo caloso. A borda medial da estria longitudinal lateral encontra-se unida à estria longitudinal medial por meio de fina lâmina de substância cinzenta, o indúcio cinzento (*indusium griseum*). Corresponde à continuação anterior do giro fasciolar, que por sua vez continua-se com o giro denteado. Descrita por Lancisi (1654-1720), anatomista italiano.

Estria longitudinal medial: dois cordões longitudinais de coloração branca, dispostos em sentido sagital de um extremo a outro sobre a linha média do corpo caloso. A sua borda lateral está ligada à borda medial da estria longitudinal lateral pelo indúcio cinzento (componente rudimentar do hipocampo). É a continuação anterior do Giro Fasciolar que, por sua vez, é a continuação do Giro Denteado. Os dois cordões da estria longitudinal medial separam-se um do outro e cada um dirige-se à substância perfurada anterior do mesmo lado, onde continua com a estria diagonal. É denominada de nervos longitudinais de Lancisi por ter sido descrita por Lancisi.

Comissura anterior: cordão de fibras transversais visível na face medial do hemisfério cerebral, disposto posteriormente às colunas do fórnice. De orientação transversal na coluna inter-hemisférica, flete-se gradualmente para trás e para baixo no interior do hemisfério cerebral. Cruza a cabeça do núcleo caudado e o núcleo lentiforme. A seguir passa sobre a amígdala e desce ao lobo temporal, onde termina. Une os bulbos e os tratos olfatórios e as porções mais mediais e filogeneticamente mais antigas dos lobos temporais. Vista por cima, assemelhasse a um guidão de bicicleta; junto com a comissura do hipocampo e o corpo caloso, faz parte das comissuras telencefálicas. Sua parte posterior e mais importante realiza a conexão de partes adjacentes do córtex do lobo frontal e temporal, hipocampo e corpo amigdalóide.

Trato mamilotálâmico (fascículo mamilotálâmico): conjunto de fibras nervosas que vão dos corpos mamilares à porção anterior do tálamo. Do corpo mamilar origina-se um fascículo denominado tronco comum dos fascículos mamilotálâmico (fascículo de Vicq-d'Azyr) e tegmentar (fascículo de Gudden). O primeiro dirige-se ao tálamo e o segundo, ao mesencéfalo.

Estria medular do tálamo: feixe de fibras ao longo da linha de implantação do teto do terceiro ventrículo, na face dorsomedial do tálamo, terminando posteriormente na habênula. É composta de fibras originadas na área septal, na substância perfurada anterior, no núcleo pré-óptico lateral e no globo pálido. Também denominada estria do terceiro ventrículo.

Estria terminal: feixe de fibras que conecta os corpos amigdalóides com o hipotálamo e outras estruturas basilares do telencéfalo. Origina-se no corpo amigdalóide, cursa posteriormente no teto do corno temporal do ventrículo

lateral; acompanhando a curvatura do núcleo caudado, segue passando ventralmente no assoalho do terceiro ventrículo, delimitando a separação do caudado com o tálamo no sulco onde passa a veia tálamo estriada. A seguir, curva-se na região do forame interventricular e segue inferior e posteriormente até alcançar o hipotálamo.

Núcleos do Tálamo e Hipotálamo

Núcleos talâmicos anteriores: grupo de núcleos localizados no tubérculo anterior do tálamo. São limitados posteriormente pela bifurcação em Y da lâmina medular interna. São os seguintes: ântero-dorsal, ântero-medial e ântero-ventral. Recebem fibras dos núcleos mamilares pelo fascículo mamilotálamico e projetam através da radiação talâmica anterior, fibras para o córtex do giro do cíngulo, integrando o circuito de Papez. Tem função relacionada com a emoção, motivação e memória a curto prazo.

Núcleos talâmicos mediais: complexo nuclear formado pelo núcleo medial dorsal e medial ventral. Compreende os núcleos situados dentro da lâmina medular interna (núcleos intralaminares).

Núcleos medianos do tálamo

Hipotálamo

Complexo estriado palidal ventral

Núcleo tegmentar ventral

INTERCONEXÕES DO SISTEMA LÍMBICO

CIRCUITO DE PAPEZ

Papez estava interessado no substrato anatômico por meio do qual as funções cognitivas influenciam as emoções e seus efeitos autônomos. Ele postulou que as estruturas límbicas ocupam uma posição intermediária entre os efeitos

corticais cognitivos e os efeitos emocionais e autônomos do hipotálamo, e as áreas de associação do córtex cerebral são conectadas ao hipotálamo.

CIRCUITO

Áreas de associação do córtex pré-frontal, parietal, temporal e occipital emitem fibras para o giro do cíngulo.

O Giro do Cíngulo projeta-se para o Giro Parahipocampal.

O Giro Parahipocampal projeta-se para o Hipocampo.

A informação no hipocampo é então conectada aos corpos mamilares do hipotálamo através do Fórnice.

Esta informação é projetada dos corpos mamilares para os núcleos talâmicos anteriores, através do fascículo mamiló-talâmico.

Finalmente a informação do Tálamo é projetada de volta para o Giro do Cíngulo fechando o circuito.

FUNÇÕES DO SISTEMA LÍMBICO

1- HIPOCAMPO: MEMÓRIA RECENTE. (mais cognitivo-memória e aprendizado)

- Memória recente: aprender e lembrar-se de um material após um intervalo de tempo de minutos, horas ou dias.

- Memória imediata: intervalo de segundos.

- Memória remota: intervalo de semanas ou mais.

Os corpos mamilares ligados ao hipocampo pelo Fórnice e o núcleo dorso medial do tálamo que contém fibras do trato mamiló-talâmico na sua passagem para os núcleos anteriores do tálamo.

Essas três estruturas parecem armazenar e evocar memórias a partir do córtex cerebral. Este pressuposto parte da observação de síndromes amnésticas marcadas por perda de memória recente com preservação de memória imediata e remota: (1) Síndrome de korsakoff que consiste na destruição bilateral dos corpos mamilares e dos núcleos dorso medial do tálamo. (2) A destruição cirúrgica dos hipocampus no tratamento de pacientes com epilepsia (caso HM: amnésia anterógrada grave e persistente, não conseguia lembrar

nada do período após a cirurgia e era incapaz de aprender qualquer informação nova).

2- NÚCLEO AMIGDALOIDE: EMOÇÕES E EFEITOS AUTÔNOMOS.

O núcleo amigdalóide recebe informações sensitivas de áreas do córtex representando todas as modalidades sensitivas. Através da estria terminal, ele se projeta para o hipotálamo que medeia os efeitos autonômicos. As respostas envolvem: alterações na pressão arterial, respiração e controle vesical e intestinal. Respostas emocionais e comportamentais podem incluir expressões de medo, ansiedade, placidez ou atividade sexual.

Epilepsia do Lobo Temporal: sensação epigástrica crescente e ascendente (sensitiva); seguida de uma rápida e inexplicável sensação de medo e ansiedade (psíquica). Um minuto depois, ficou com o olhar vago e não respondia à conversa e mexia suas roupas de maneira descoordenada e sem propósito (motor). Ele tinha uma aparência pálida e sudorética e seu padrão respiratório estava irregular (autônomo), resultado de descargas anormais no núcleo amigdalóide.

ANEXO A – Termo de Consentimento Livre e Esclarecido

HOSPITAL DAS CLÍNICAS DA FACULDADE DE MEDICINA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO-HCFMUSP/UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA-UFU

TERMO DE CONSENTIMENTO LIVRE E ESCLARECIDO

- 1. TÍTULO DO PROTOCOLO DE PESQUISA:** Criação, implementação e avaliação de um recurso didático multimídia como suporte para o ensino da neuroanatomia: realidade virtual e estereoscópica.

PESQUISADOR: Dr Jose Weber Vieira de Faria.

1 – O objetivo deste estudo é elaborar um inédito recurso didático para o ensino de neuro-anatomia, de baixo custo, acessível a partir de computadores pessoais, imersivo, interativo, foto realístico e que permita visão tridimensional estereoscópica e, secundariamente, avaliar o grau de aprendizado dos alunos após a sua utilização, comparando-o com métodos de ensino tradicionais.

2 – Utilizaremos de uma metodologia de análise de aprendizagem do conteúdo por meio da avaliação dos registros deixados por cada aluno sobre a experiência com a aula no ambiente do laboratório de realidade virtual e por meio de parâmetros tradicionais de mensuração, por perguntas e respostas, e por uma avaliação prática. Na avaliação teórica, aplicaremos uma questão dissertativa para avaliar o conteúdo assimilado.

3 – O principal investigador é o Dr Jose Weber Vieira de Faria que pode ser encontrado no telefone(s) (34) 99797309 se você tiver alguma consideração ou dúvida sobre a ética da pesquisa.

4 – Despesas e compensações: não há despesas pessoais para o participante em qualquer fase do estudo. Também não há compensação financeira relacionada à sua participação.

5 - Há o Compromisso do pesquisador de utilizar os dados e o material coletado somente para esta pesquisa.

Acredito ter sido suficientemente informado a respeito das informações que li ou que foram lidas para mim, descrevendo o estudo e Concordo voluntariamente em participar deste estudo e poderei retirar o meu consentimento a qualquer momento, antes ou durante o mesmo, sem penalidades ou prejuízo.

Assinatura do ALUNO

Assinatura do responsável pelo estudo Data / /

ANEXO B – Aprovação do Comitê de Ética

APROVAÇÃO

A Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa - CAPPesq da Diretoria Clínica do Hospital das Clínicas e da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, em sessão de 19/08/2009, **APROVOU** o Protocolo de Pesquisa nº **0608/09**, intitulado: **"CRIAÇÃO, IMPLEMENTAÇÃO E AVALIAÇÃO DE UM RECURSO DIDÁTICO MULTIMÍDIA COMO SUPORTE PARA O ENSINO DA NEUROANATOMIA: REALIDADE VIRTUAL E ESTEREOSCÓPICA."** apresentada pelo Departamento de **NEUROLOGIA**.

Cabe ao pesquisador elaborar e apresentar à CAPPesq, os relatórios parciais e final sobre a pesquisa (Resolução do Conselho Nacional de Saúde nº 196, de 10/10/1996, inciso IX.2, letra "c").

Pesquisador (a) Responsável: **Prof. Dr. Manoel Jacobsen Teixeira**

Pesquisador (a) Executante: **Jose Weber Vieira de Faria**

CAPPesq, 19 de Agosto de 2009

Prof. Dr. Eduardo Massad
Presidente da Comissão de
Ética para Análise de Projetos
de Pesquisa

Comissão de Ética para Análise de Projetos de Pesquisa do HCFMUSP e da FMUSP Diretoria Clínica do Hospital das Clínicas da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo Rua Ovídio Pires de Campos, 225, 5º andar - CEP 05403-010 - São Paulo - SP Fone: 011 3068 6442 Fax: 011 3068 6492 e-mail: cappesq@hcnet.usp.br / secretariacappesq2@hcnet.usp.br

16