

ESTEREOSCOPIA APLICADA À NEUROANATOMIA

Estudo comparativo entre as técnicas de filtro de cores e de polarização

Murilo Sousa de Meneses¹, André Vieira da Cruz²,
Izara de Almeida Castro², Ari A. Pedrozo³

RESUMO - Atualmente há grande necessidade de maior disponibilização de material didático no ensino médico. A escassez de segmentos anatômicos e a toxicidade dos conservantes, como o formol, têm gerado uma busca intensa por novos meios de demonstração da anatomia humana. Como solução para esta dificuldade pode-se utilizar imagens tridimensionais (3D), que facilitam o processo de aprendizado. Este estudo tem como objetivo comparar e descrever duas técnicas de reprodução de imagens bidimensionais em três dimensões, o que é chamado de estereoscopia. Os dois métodos avaliados foram o de filtro de cores (anaglífico) e o de luz polarizada. As técnicas foram analisadas segundo a nitidez e o efeito 3D. Avaliaram-se 14 imagens por 5 pessoas, com notas de 0 a 4. A média total da técnica de polarização foi superior em relação à técnica anaglífica. Ambas realizam codificação de imagens, que consiste na separação e na exclusividade com que cada olho vê a imagem correspondente. Após vários ensaios fotográficos e adaptações gradativas a uma melhor técnica, baseando-se em conhecimentos de física elementar, fotografia e neuroanatomia, concluímos que ambas são capazes de produzir efeito 3D. No entanto, a melhor técnica, em termos de qualidade final da imagem foi a de polarização, não alterando a coloração natural da peça, mantendo traços nítidos e possuindo menor custo.

PALAVRAS-CHAVE: estereoscopia, anaglífico, polarização, anatomia humana, neuroanatomia.

Stereoscopic neuroanatomy: comparative study between anaglyphic and light polarization techniques

ABSTRACT - The need of didactic material is increasing in medical science nowadays. The lack of anatomical specimens, and the toxicity of conservators, have originated an intense search for alternative ways of demonstrating the human anatomy. As a solution for this difficulty, three-dimensional (3-D) images may be used, facilitating the learning process. This study aims at comparing and describing two techniques of reproduction of bi-dimensional images into three dimensions, which is called stereoscopy. The methods evaluated are filter of colors (anaglyphic) and polarized light. Techniques were analyzed for clearness and 3-D effect. Fourteen images were evaluated by 5 people, with scores ranging from 0 to 4. Total mean scores of polarized light was superior compared to the anaglyphic technique. Both methods use the codification of the image, which means separation and exclusivity with each eye seeing its corresponding image. After several photographic essays and gradual adaptation to a better technique, based on optical physics, photography and neuroanatomical knowledge, we concluded that both techniques are suitable means for production of 3-D images. The best technique, however, considering the final quality of image was polarized light, which did not alter the natural color of the specimen, conserving clearness of images with lower cost.

KEY WORDS: estereoscopy, anaglyphic, polarization, human anatomy, neuroanatomy.

A estereoscopia é a técnica de transformar imagens bidimensionais em tridimensionais¹. Há grande interesse em seu uso no ensino médico por algumas vantagens como: melhora do aprendizado e facilitação da memorização²; menor necessidade de

cadáveres e segmentos anatômicos para o estudo prático; minimização do contato com substâncias conservantes tóxicas, como o formol. A estereoscopia é uma reprodução artificial da visão humana, que é possível pela existência de células fotossensíveis na

¹Neurocirurgião do Instituto de Neurologia de Curitiba, Professor de Anatomia, Universidade Federal do Paraná (UFPR), Curitiba PR, Brasil; ²Estudantes do Curso de Medicina, UFPR; ³Neurocirurgião do Instituto de Neurologia de Curitiba.

Recebido 16 Outubro 2001, recebido na forma final 3 Maio 2002. Aceito 14 Maio 2002.

Dr. Murilo Sousa de Meneses - Avenida Getúlio Vargas 2159 - 80250-180 Curitiba PR - Brasil.

retina³. A forma fisiológica da visão humana é tridimensional. Isto ocorre porque a visão binocular, resultante da posição alinhada dos olhos, permite que um objeto seja visto de ângulos ligeiramente diferentes, um mais à direita e outro mais à esquerda. O processamento destas informações pelo sistema nervoso central propicia a percepção de profundidade⁴. Quando já houve contato com o objeto, há uma noção imediata de tridimensionalidade, pela evocação de dados contidos na memória⁵. Artigos referentes à aplicação de estereoscopia à medicina são escassos. A metodologia para tridimensionalização (codificação) de imagens é conhecida, mas restrita, havendo, na maioria dos casos, apenas a demonstração das fotos⁶, geralmente em computadores⁷. Há fins comerciais envolvidos neste aspecto.

Existem dois métodos principais para codificar imagens, ou seja, separar a imagem que o olho esquerdo e o direito vêem: o de filtro de cores (anaglífico) e o de polarização^{1,4}, sendo o anaglífico⁴ o mais simples e difundido. Ambos os métodos necessitam de duas imagens de cada objeto que se deseja reproduzir em três dimensões (3D), uma da direita e uma da esquerda, constituindo elas o chamado estereopar. A técnica anaglífica utiliza como meio de codificação cores básicas, mais comumente o azul e o vermelho; cada uma das imagens do estereopar é colorida com uma destas cores, o resultado final sendo visto com o auxílio de óculos especiais, com lentes coloridas azul e vermelha, correspondendo às imagens^{1,4}. No método de polarização, uma das imagens é polarizada na vertical (90°) e a outra na horizontal (0°), sendo visto o efeito final com óculos com lentes polarizadoras correspondentes⁸. Caso o observador tenha defeito visual, deve manter seus óculos corretivos ao usar os óculos com filtros⁴.

O objetivo do presente estudo é comparar as técnicas anaglífica e de polarização quanto a um resultado tridimensional mais nítido e próximo da realidade de um segmento neuroanatômico.

MÉTODO

Materiais

Foram utilizados encéfalos completos e medulas espinhais (ME) humanos de adultos, do Departamento de Anatomia da Universidade Federal Paraná entre outubro de 1999 e fevereiro de 2000. O estudo foi aprovado pela comissão científica do referido departamento. O material foi colocado em solução fixadora de formol a 10%⁹ e em seguida foram retiradas cuidadosamente todas as meninges da superfície do encéfalo¹⁰. Os segmentos anatômicos usados foram escolhidos de acordo com o melhor estado, após rigorosa comparação com fotos de neuroanatomia^{11,12}. São os seguintes: dois cerebelos isolados; um tron-

co encefálico isolado (mesencéfalo, ponte e bulbo); um segmento contendo cerebelo, tronco do encéfalo e ME; quatro hemisférios cerebrais; um segmento contendo a região posterior do tronco do encéfalo, com a coluna vertebral, a ME e as raízes nervosas.

O material de fotografia utilizado foi o seguinte: filmes para diapositivos ASA 100, máquina fotográfica profissional Nikon¹ e suporte para fotografar as peças. Este suporte apresentava superfície plana para apoiar as peças, guia para fixação e movimentação da máquina e duas lâmpadas acopladas (elaborado pelo Instituto de Bioengenharia do Hospital Erasto Gaertner).

Para a reprodução em 3D foram empregados: dois projetores de slides modelo Kodak tipo carroussel, tela metálica especial (conhecida como Silver), acoplamentos filtros-projetores, filtros polarizadores, óculos anaglíficos e polarizadores, *software Mux-it* para a técnica anaglífica, molduras tipo selecta ou reflecta⁸.

Técnicas

Retiraram-se os segmentos da solução conservante, secando-os com papel absorvente. Foram medidas duas dimensões de cada peça, localizando o centro no cruzamento destas duas medidas.

Na superfície plana do suporte, sobre a qual se assentam os segmentos, colocou-se uma camada de papel *contact* vermelho, traçando-se linhas perpendiculares entre si e determinando também seu centro.

Acoplou-se a máquina na posição central da guia, na qual há esta marcação, além de duas marcações laterais (direita e esquerda), distando entre si 2,5 polegadas¹. O centro da objetiva da máquina foi direcionado para coincidir com o centro do fundo vermelho, sobre o qual foi colocado o centro da peça. Deslocou-se a máquina até a posição direita, inclinando-a para que o centro da objetiva pudesse novamente coincidir com o centro da peça. Então, a peça foi fotografada nesta posição; o mesmo procedimento foi repetido para o lado esquerdo. Foi utilizada apenas uma máquina fotográfica.

Denominaram-se as fotos do lado direito de "Dx" e as do esquerdo de "Ex", como por exemplo, D1 e E1, para melhor identificação do estereopar.

As especificações a seguir foram utilizadas para todas as fotos: velocidade de abertura do obturador de 1/60 segundos, utilização de disparador automático para evitar tremores nas fotos, anel de ajuste das sensibilidades do filme para ASA 100, anel de aberturas para quantidade de luz ajustado em 16 e velocidade do flash compatível com a do obturador. Ainda, quanto à luminosidade, luz ambiente (fluorescente), luz local (duas lâmpadas incandescentes de 40 watts) e flash.

Todos os procedimentos descritos até aqui valem para ambas as técnicas.

Método de filtro de cores ou anaglífico

As fotos foram tiradas como já descrito anteriormente, sendo uma da posição à direita e outra à esquerda. O

filme utilizado é próprio para revelar em diapositivos, sendo as mesmas fotos utilizadas para ambas as técnicas. Após a revelação, os diapositivos foram digitalizados por um *scanner* e armazenadas no disco rígido em formato *jpg*, que ocupa menos espaço na digitalização.

Antecipando a tridimensionalização, foi utilizado um programa que converte as imagens do formato *jpeg* para o formato *bmp*, o qual se denomina *MGI PhotoSuite SE*.

Depois de realizada a conversão, passou-se a fazer uso do programa *MUX-IT* (VRex Inc., Elmsford, Nova York). Neste programa, abriu-se primeiramente a foto ou imagem da esquerda e depois a da direita. Procedeu-se então à mistura das imagens do estereopar, já aberto no programa, pelo comando *create SMI*. Assim, as imagens foram misturadas ou sobrepostas, procedendo-se ao ajuste do deslocamento lateral na sobreposição, por um outro comando chamado *pixel shift*. Foram testados alguns deslocamentos como 0, +10, +20, +30, +50, -10, -20, -30 e -50. No deslocamento 0 (zero) as imagens permaneceram praticamente sobrepostas; nos deslocamentos positivos elas se movem lateralmente e nos negativos, medialmente. Foi mantido o deslocamento zero para melhor efeito 3D e menor cansaço visual. Para a correção das diferenças de luminosidade, lançou-se mão de variações na intensidade da cor e não de alterações do brilho, para que o contraste não fosse modificado.

Após o término da confecção das imagens tridimensionais, estas são fotografadas em filme de slides com máquina Polaroid HR6000 com programa Raster plus. Assim, obtiveram-se, com auxílio dos óculos anaglíficos^{1,8}, imagens únicas a partir de um par de imagens. A lente direita dos óculos é azul, correspondendo à imagem direita, sendo a lente e a imagem esquerdas vermelhas¹.

Método de polarização

Após fotografadas as imagens direita e esquerda como já descrito anteriormente, revelou-se o filme em diapositivos, que serão úteis para ambas as técnicas. Posicionaram-se os dois projetores de slides do mesmo modelo em uma superfície plana, um ligeiramente afastado do outro, mas ambos direcionados para a tela metálica. Os diapositivos referentes às imagens da direita foram separados dos esquerdos e foram colocados nos respectivos projetores. A classificação dos projetores em direito e esquerdo foi feita com o observador voltado para a tela. Os diapositivos foram colocados em ordem correspondente em ambos os projetores, para que se pudesse projetar simultaneamente um estereopar.

Procedeu-se ao ajuste do tamanho da imagem projetada na tela, mantendo igualdade para ambos os projetores. Seguiu-se com o acoplamento dos encaixes para os filtros polarizadores e a colocação dos mesmos. Os filtros foram colocados de maneira perpendicular entre si, para que um dos projetores tivesse imagens polarizadas na horizontal e o outro na vertical (codificação). Para o posicionamento correto dos filtros, o observador manteve aberto apenas o olho correspondente ao filtro (olho direi-

to para filtro do projetor direito, o mesmo se repetindo para o esquerdo), girando-o até que projetasse a imagem mais clara possível.

Assim, procedeu-se com a projeção simultânea das imagens e ajuste das mesmas pela orientação fornecida pelas linhas do fundo vermelho, sendo que devia haver sobreposição dessas linhas. Formou-se então uma única imagem. Ainda sobre a projeção, deve-se lembrar que os dois projetores eram do mesmo modelo e a tela era metálica⁸, conhecida no meio fotográfico como "Silver". Com auxílio dos óculos polarizadores, observou-se o resultado^{1,8}.

Avaliação

Para que as imagens referentes a cada um dos métodos pudessem ser avaliadas, foram escolhidos dois parâmetros: nitidez ou P1: clareza dos detalhes ou perda dos mesmos em comparação à peça "in natura"; efeito 3D ou P2: visibilização de imagem borrada sem os óculos e imagem que "salta aos olhos", ou que apresenta definições de profundidade com os óculos.

Notas foram dadas a 14 imagens por 5 estudantes de medicina que já cursaram anatomia, variando de 0 a 4. Estas notas se referem à porcentagem de presença do parâmetro em questão em cada imagem, variando correspondentemente de 0% a 100% (Tabela 1)

Para cada imagem, a nota poderia variar entre 0 e 8, pela somatória das pontuações dos dois parâmetros. As médias dos parâmetros P1 e P2 foram analisadas pelo teste não paramétrico de Mann-Whitney, usando-se como hipótese nula não haver diferença entre as médias dos parâmetros P1 e P2 para as técnicas anaglíficas e polarização e sendo as médias P1 e P2 maiores para a técnica de polarização como hipótese alternativa.

Com relação às imagens, foram identificadas da seguinte maneira: 1,2 e 3, hemisférios cerebrais; 4 e 5, tronco do encéfalo; 6,7,8 e 9, cerebelo; 10 e 11, peça com ME, cerebelo e tronco encefálico; 12 e 13, peça da região posterior do tronco com ME, coluna vertebral e raízes nervosas; 14, hemisfério cerebral com exposição da insula.

Tabela 1. Pontuação de acordo com a porcentagem de presença dos parâmetros P1 e P2.

Parâmetro	0%	25%	50%	75%	100%
P1	0	1	2	3	4
P2	0	1	2	3	4

RESULTADOS

Para cada imagem de cada técnica foram obtidos dados através da análise dos dois parâmetros já citados. As Tabelas 2 e 3 mostram os resultados para as técnicas anaglífica e de polarização, respectivamente. O Gráfico 1 ilustra a soma das médias dos parâmetros P1 e P2 entre os dois métodos.

Tabela 2. Resultados da técnica anaglífica.

Imagens	Média P1	Média P 2	Nota total
1	2	2	4
2	2	2,4	4,4
3	2,8	3	5,8
4	1,8	2,2	4
5	2,2	2,2	4,4
6	2,8	2,8	5,6
7	2	2,6	4,6
8	2,2	2,4	4,6
9	2,2	2,6	4,8
10	2,6	3	5,6
11	3	3,4	6,4
12	2,6	3,4	6
13	3,2	3,6	6,8
14	3,4	4	7,4
Média	2,49	2,83	5,31

Tabela 3. Resultados da técnica de polarização.

Imagens	Média P1	Média P2	Nota total
1	3,2	3,8	7
2	3,2	3,6	6,8
3	3,4	3,8	7,2
4	2,2	2,6	4,8
5	1,6	2,2	3,8
6	3,4	3,6	7
7	3	2,8	5,8
8	3,6	3,6	7,2
9	3,6	3,8	7,4
10	3,6	3,8	7,4
11	3,4	3,4	6,8
12	3,6	3,8	7,4
13	3,4	3,6	7
14	4	4	8
Média	3,23	3,46	6,7

Aplicando-se o teste de Mann-Whitney para médias, verificou-se que P1 foi maior no método de polarização, altamente significativo com $p < 0,001$. Do mesmo modo, P2 foi também maior no método de polarização, com $p < 0,0047$.

Uma outra informação que pode ser obtida a partir das notas é a porcentagem de eficácia das técnicas de tridimensionalização. A maior nota esperada pelos valores atribuídos aos parâmetros seria 8 ou 100%, podendo então ser feita uma análise relativa entre a nota máxima e a obtida por cada uma das técnicas. O Gráfico 2 mostra esta análise.

DISCUSSÃO

Atualmente, com o desenvolvimento de modernas técnicas diagnósticas, os avanços tecnológicos têm trazido muitos benefícios quanto à resolução das imagens.

Vários métodos de neuroimagem têm explorado a tridimensionalidade¹²⁻¹⁴ como fator facilitador do diagnóstico topográfico. Inclusive têm sido desenvolvidos recursos de imagem tridimensional computadorizados, como o Atlas do Sistema Nervoso Central¹⁵ e programas de análise de imagens médicas

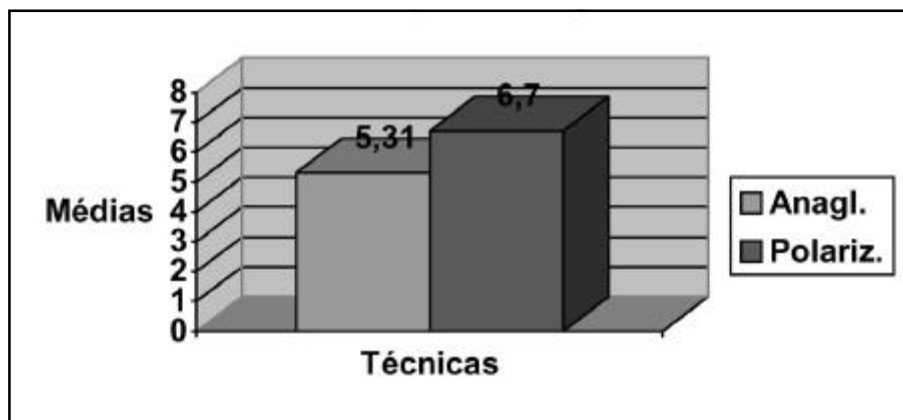


Gráfico 1. Médias das notas referentes às técnicas de codificação de imagens.

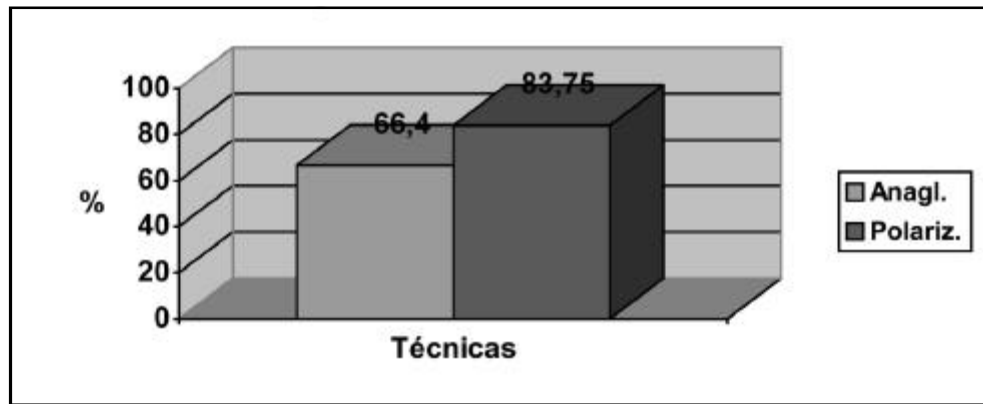


Gráfico 2. Porcentagem de eficácia das técnicas de 3D.

diagnósticas¹⁶. É importante que este avanço também seja aplicado ao ensino médico. No entanto, a prática destas técnicas na medicina parece ser dificultada pela ausência de material de apoio na literatura médica, por fins comerciais e autorais de manter a metodologia restrita.

Este estudo foi desenvolvido a partir de testes baseados em noções de física elementar (especialmente a óptica), fotografia, informática e neuroanatomia. As adaptações e alterações para melhoria das técnicas foram alcançadas a partir de vários ensaios e raciocínios, após visualização e conclusões sobre os resultados obtidos.

Com relação ao material, a tela deve ser metálica ou prateada especial⁸, pois telas ou paredes comuns não são capazes de manter a polarização da luz no caso do método de polarização. Também os óculos devem estar em boas condições de preservação das lentes, para que não haja interferência na reprodução tridimensional das imagens.

Quanto à metodologia, para que se possa entender a respeito das posições direita e esquerda assumidas pela máquina fotográfica, é preciso esclarecer o conceito de estereopsia, que pode ser definida como a capacidade humana de ver tridimensionalmente. O ser humano pode perceber diferenças de profundidade ou três dimensões de algumas maneiras, entre elas: experiência pessoal (conhecimento do objeto, seu tamanho natural, podendo dizer se está mais perto ou mais distante), diferença de luminosidade (formação de sombras nas regiões mais profundas ou distantes) e estereopsia. Quando fixamos a visão em algum objeto, esta imagem é projetada no mesmo local dos dois olhos, enquanto objetos mais ou menos distantes daquele que focalizamos estão projetados em locais diferentes nos dois olhos. Então, estas pequenas diferenças de dis-

tância na projeção das duas imagens, cada uma em um dos olhos, podem produzir grandes diferenças na sensação de profundidade¹⁷. Devido a estes aspectos, a máquina fotográfica varia entre posição mais à direita e mais à esquerda, sendo também inclinada, para variar também a projeção destas imagens nas duas retinas e fornecer noção de profundidade. Esta questão da profundidade pôde ser percebida pelo melhor efeito 3D que as peças anatômicas com mais depressões e elevações apresentaram em relação a outras mais planas.

Também, a distância entre as posições direita e esquerda deve ser de 2,5 polegadas devido à distância interocular média, que se situa nesta faixa, produzindo um sistema que imite o sistema visual humano.

Em relação à metodologia, as linhas perpendiculares entre si, traçadas no fundo vermelho de papel *contact* servem para melhor acerto dos dois projetores no método de polarização, tendo como um bom ajuste quando as linhas de uma projeção coincidem com as da outra. No intuito de um melhor acerto com o uso de dois projetores também foram usadas molduras para diapositivos tipo *reflecta*, com a intenção de que o diapositivo não variasse de posição em relação ao seu estereopar⁸.

Com relação ao aspecto visual da tridimensionalidade artificial, não há prejuízo visual, apenas um cansaço que se justifica pelo considerável trabalho de acomodação visual que o olho realiza.

Quanto aos resultados, a melhor técnica em porcentagem de eficácia e média de notas foi a de polarização, apresentando o melhor efeito 3D e a maior nitidez. Esta técnica apresenta como vantagens os fatos de não haver alteração da cor natural do objeto exposto, de não necessitar de computador e programas de auxílio para seu resultado final, de apresentar custo mais baixo e de ter apresentado efeito

visual consideravelmente melhor. No entanto, há algumas limitações: não pode ser reproduzida com o uso de apenas um projetor de slides; não pode ser impressa; necessita tela especial para projeção e de filtros polarizadores para os projetores; os projetores precisam ser acertados até que as linhas do fundo coincidam entre uma projeção e outra.

Já o método anaglífico não foi o melhor em notas e eficácia quanto à nitidez e ao efeito 3D, mas apresenta alguns pontos vantajosos: pode ser apresentado em papel impresso, fotos de livros e materiais do gênero; utiliza apenas um projetor, pois o resultado final está em apenas um diapositivo, não necessitando de tela especial¹⁸. Entretanto, há desvantagens na cor do resultado final, que fica bastante distante da original, há uma certa perda de resolução na imagem, necessita de programas de computador e *scanner* de diapositivos e gera mais cansaço visual, segundo a opinião subjetiva dos avaliadores.

Ainda há detalhes a melhorar e estudos e pesquisas mais profundos devem ser considerados para que, possivelmente, estas desvantagens sejam superadas.

A técnica de polarização foi a melhor das duas em termos de qualidade de imagem. No entanto, ainda é necessário ultrapassar pequenos entraves para que a técnica se sobressaia também na facilidade do uso, além da qualidade visual e do aspecto de custos.

Agradecimentos - Ao Prof. Dr. Fernando Abib, pelo incentivo e orientação na área da oftalmologia.

REFERÊNCIAS

1. <http://www.imagem-digital.com/chapter12.htm> In Internet (CURTIN 2000).
2. Tiede MB. Computerized three-dimension atlas of the human skull and brain. *Am J Neuroradiol* 1993;14:3:551-559.
3. Marrone ACH, Aquini MG, Meneses MS. Vias da sensibilidade especial. In Meneses MS. *Neuroanatomia aplicada*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999:297-298.
4. <http://www.estereoimagens.com.br/sobre3D/principal.htm> In Internet, 2000.
5. Guyton AC, Hall JE. O sistema nervoso. In *Tratado de fisiologia médica*. 9.Ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1997:672.
6. Sudstein JW. Videodisc animation of 3-D computer reconstructions of the human brain. *J. Biocommun* 1991;18:2,45-49.
7. Losner A. Computer model of the brain: how far can they take us ? *J Theor Biol* 1994;17:1,61-73.
8. <http://www.stereoscopy.com/reel3d> In Internet, 2000.
9. Hildebrand M. *Anatomical preparation*. Berkley: University of California Press, 1968.
10. Rodrigues H. *Técnicas anatômicas*. 2.Ed. Vitória: Arte Visual, 1998.
11. Meneses MS, Montañó JC, Fuzza RF. Cortes do Cérebro. In Meneses MS. *Neuroanatomia aplicada*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999:337-347.
12. Meneses MS, Paola LE. Tronco Cerebral. In Petroanu A. *Anatomia cirúrgica*. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 1999:56-69.
13. Kretschmann HJ. Three-dimensional reconstructions in neuroanatomy. *Radiology* 1991;31:441 -448.
14. Blackstad TW. Computer programs for neuroanatomy: three-dimensional reconstructions and analysis of populations of cortical neurons and other bodies with a laminar distribution. *Comput Biol Med* 1988;18:5, 321-340.
15. Robb RA. Interactive display and analysis of 3D medical images. *IEEE Transmed Imaging* 1989;8:3,217-226.
16. Natarajan K. Defining the clinical/educational requirements for the brain: technical report of the SAMMIE (A2032). AIM Project, 1992.
17. Hobel HD. El cuerpo caloso y la estereopsis. In *Ojo, cerebro y visión*. Madrid: Universidad de Murcia, 1999:137-157.
18. Ribas GC, Bento RF, Rodrigues AJ Jr. Anaglyphic three-dimensional stereoscopic printing: revival of an old method for anatomic and surgical teaching and reporting. *J Neurosurg*. 2001;5:1057-1066.