CHRISTIAN DINIZ FERREIRA

**Modelo anatômico de ventriculomegalia para treinamento
neuroendoscópico**

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

Programa de Neurologia

Orientador: Prof. Dr. Hamilton Matushita

**São Paulo
2015**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

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

©reprodução autorizada pelo autor

Ferreira, Christian Diniz

Modelo anatômico de ventriculomegalia para treinamento neuroendoscópico /
Christian Diniz Ferreira. -- São Paulo, 2015.

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

Orientador: Hamilton Matushita.

Descritores: 1.Modelos anatômicos 2.Cadáver 3.Neuroendoscopia
4.Hidrocefalia 5.Encéfalo 6.Educação médica 7.Médicos residentes 8.Terceiro
ventrículo/cirurgia

USP/FM/DBD-117/15

DEDICATÓRIA

*A Deus, todo poderoso;
À Juliana, minha esposa, pelo amor e companheirismo
incondicional;
À Gláucia e Daniel, meus pais, gratidão eterna;
Aos meus trigêmeos: Christian Jr., Laís e Isa, razão do meu
viver;
A TODOS os meus familiares;
Aos meus amigos;
Às pessoas que ajudaram na finalização da tese.*

AGRADECIMENTOS

Ao Senhor Deus, pelo dom maior da vida.

A todos que, direta ou indiretamente, tornaram possível a realização desta tese, em especial.

Ao Professor Dr. Ricardo Nitrini, em cujo nome estendo meus agradecimentos a todos os componentes do programa de Pós-Graduação que contribuíram para minha inclusão neste programa.

Ao Prof. Dr. Hamilton Matushita, pelos ensinamentos, pela oportunidade de crescimento profissional e, sobretudo, pela orientação e ajuda em todas as etapas deste projeto.

Ao Prof. Dr. José Francisco Salomão, pelos primeiros passos na neuroendoscopia.

Ao Prof. Axel Perneczky (*in memoriam*), pela palavra de incentivo ao ver o esboço deste projeto, por ocasião do curso de neuroendoscopia na Universidade de Mainz Alemanha.

Ao Prof. Dr. Samer Ebaab, chefe do serviço de Neurocirurgia Pediátrica da Universidade de Saint Louis – Missouri – Estados Unidos, por acreditar no nosso projeto e nos convidar para participar dos cursos anuais de Neuroendoscopia oferecidos pelo laboratório da Universidade de Saint Louis, utilizando os nossos modelos de ventriculomegalia.

Ao Prof. Dr. Evandro de Oliveira, pelos ensinamentos fundamentais da anatomia neurocirúrgica;

À Universidade Federal da Paraíba, instituição na qual fiz a minha formação médica, e em que tive acesso a várias peças anatômicas que colaboraram com este trabalho.

Ao Prof. Jozemar P. Santos, pela análise estatística.

Ao Prof. Dr. Maurus Holanda, Prof. Dr. Walter Mendes Júnior, Prof. Dr. Gualter Ramalho, Prof. Ms. Ronald Farias, Prof. Ussânio Mororó, Prof. Dr. Stênio Sarmiento, Dr. Valdir Delmiro, Dr. Leonardo Matias, meus grandes companheiros, por preencherem as lacunas do dia a dia na minha ausência.

Aos alunos Artur Bastos Rocha, Arlindo Ugulino Netto, Luiz Gustavo Correia, Djalma Felipe da Silva Menendez e Rayan Haquim Pinheiro Santos, pela amizade e dedicação.

À Ester Carvalho Diniz, pela pronta disponibilidade em ajudar.

À Thais Figueira, pela amizade e paciência nas minhas solicitações e questionamentos.

Aos cadáveres, meu agradecimento e respeito.

*“Quanto melhor é adquirir a sabedoria do que o ouro!
E mais excelente, adquirir a prudência do que a prata!”*

Provérbios 16:16

NORMALIZAÇÃO ADOTADA

Esta tese está de acordo com as seguintes normas, em vigor no momento desta publicação: Referências: adaptado de *International Committee of Medical Journals Editors* (Vancouver).

Universidade de São Paulo. Faculdade de Medicina. Serviço de Biblioteca e Documentação. Guia de apresentação de dissertações, teses e monografias. Elaborado por Anneliese Carneiro da Cunha, Maria Julia de A.L. Freddi, Maria F. Crestana, Marinalva de Souza Aragão, Suely Campos Cardoso, Valéria Vilhena. 3^a Ed. São Paulo: Serviços de Biblioteca e Documentação; 2011.

Abreviaturas dos títulos dos periódicos de acordo com *List of Journals Indexed in Index Medicus*.

SUMÁRIO

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE TABELAS

RESUMO

ABSTRACT

1 INTRODUÇÃO	3
2 OBJETIVOS.....	9
3 REVISÃO DA LITERATURA	13
3.1 Neuroendoscopia	14
3.1.1 Histórico da Neuroendoscopia	14
3.1.2 Indicações.....	17
3.2 Anatomia endoscópica da via de acesso.....	17
3.2.1 Ventículos laterais	18
3.2.1.1 Corno frontal.....	21
3.2.1.2 Corpo.....	21
3.2.2 Terceiro ventrículo	22
3.2.3 Relações arteriais.....	23
3.2.4 Relações venosas	23
3.3 Experimentos Pré-Clínicos Realizados	24
3.4 Propriedades Físicas da Água	29
4 MATERIAL E MÉTODOS	35
5 RESULTADOS.....	45
6 DISCUSSÃO	55
7 CONCLUSÕES	69
8 ANEXOS	73
8.1 ANEXO A – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo.....	73
8.2 ANEXO B – Aprovação do Departamento de Morfologia da Universidade Federal da Paraíba.....	74
9 REFERÊNCIAS.....	77

10 APÊNDICES

APÊNDICE A – Fotos no Acesso Endoscópico aos Ventriculos Laterais e terceiro Ventrículo

APÊNDICE B – Laboratório com a Utilização dos Modelos Anatômicos de Ventriculomegalia (Curso Latino Americano de Neuroendoscopia- Dezembro 2011)

APÊNDICE C- Laboratório com a utilização dos modelos anatômicos de ventriculomegalia (X Congresso Brasileiro de Neurocirurgia Pediátrica – Maio de 2013)

APÊNDICE D – Artigo Publicado

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

%	Porcentagem
μ_{antes}	Momento antes
$\mu_{\text{após}}$	Momento após
<	Menor
=	Igual
>	Maior
Δ	Variação
ΔV	Variação do volume
$\Delta V1$	Variação do volume 1
$\Delta V2$	Variação do volume 2
ΔV_i	Variação do volume inicial
®	Marca Registrada
°	Graus
a	Nível de confiança
a.C.	Antes de Cristo
Aq	Aqueduto Cerebral
ASPEN	<i>Anatomical Simulator for Pediatric Neurosurgery</i>
C	Crânio
Ca	Comissura Anterior
CEP	Comitê de ética em Pesquisa
Cf	Coluna do Fórnice
CF	Corno Frontal
Cm	Corpos Mamilares
cm	Centímetro
cm ³	Centímetro cúbico
Cp	Comissura Posterior
CT	Corno Temporal
D	Densidade

DI	Diâmetro Interno
Dif. med	Diferença média
DPBmax	Diâmetro Biparietal Máximo
Dr.	Doutor
DVA	Derivação Ventrículo Atrial
DVP	Derivação Ventrículo Peritoneal
EA	Estenose de Aqueduto
Ed.	Edição
<i>et al.</i>	e outros
F	<i>French</i>
Fi	Forame Interventricular
FMUSP	Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo
g	Gramas
g.l.	Graus de liberdade
H0	Hipótese nula
H1	Hipótese alternativa ou experimental
H ₂ O	Água
Í.	Índice
LCR	Líquido Cefalorraquidiano
Lt	Lâmina Terminal
m	Massa
mL	Mililitro
mm	Milímetro
mm ²	Milímetro quadrado
mmHg	Milímetro de Mercúrio
Ms	Mestre
n	tamanho da amostra
P.	Página
p<0,01	Resultados estatisticamente significativos
Pc	Plexo Corioideo
PIC	Pressão Intracraniana
Prof.	Professor
Qo	Quisma Óptico

Ri	Recesso infundibular
RM	Ressonância Magnética
Rt	Recesso Triangular
SIMONT	<i>Sinus Model Oto-Rhino Neuro Trainer</i>
Sp	Septo Pelúcido
Ta	Tálamo
Tat	Tubérculo anterior do tálamo
Tc	Tuber Cinéreo
TC	Tomografia Computadorizada
t_{cal}	Student's t - test (teste T de Student calculado)
Teste t	Estatística t-student
T_{n-1}	Teste T de Student da amostra - 1
TVE	Terceiroventriculostomia
UFPB	Universidade Federal da Paraíba
USP	Universidade de São Paulo
V1	Volume 1
V2	Volume 2
Vf	Volume Final
Vi	Volume Inicial
Vt	Volume Total

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Figura evidenciando os métodos de análise quantitativa de dilatação ventricular	13
Figura 2	Demonstração de algumas estruturas anatômicas do sistema ventricular, dentre elas: (1) tronco do corpo caloso; (2) esplênio do corpo caloso; (3) cabeça do núcleo caudado; (4) corpo do núcleo caudado; (5) trígono colateral.....	19
Figura 3	Peça demonstrando algumas estruturas anatômicas: (1) pé do hipocampo; (2) corpo do hipocampo; (3) trígono colateral; (4) calcar avis; (5) giro longo da ínsula; (6) sulco central da ínsula; (7) giros curtos da ínsula; (8) tela corioideia; (9) eminência colateral.	20
Figura 4	Peça demonstrando as seguintes estruturas anatômicas: (1) aderência intertalâmica; (2) recesso óptico; (3) coluna do fórnice; (4) corpos mamilares; (5) recesso infundibular; (6) lâmina terminal; (7) comissura posterior; (8) aqueduto cerebral.	23
Figura 5	Fisicamente, as moléculas de água interagem entre si de uma forma ordenada, ou seja, cada uma delas pode atrair somente a quatro outras moléculas vizinhas, cujos centros, como resultado dessa união, formam um tetraedro	29
Figura 6	Em (a), representação de uma ordenação ilimitada para uma cadeia de átomos, a qual se compara com a ordenação limitada, em (b)	30
Figura 7	Cortes tomográficos - O crânio foi cortado por meio de uma linha que vai da glabella à protuberância occipital externa.....	36
Figura 8	Canulação do forame de Magendie e obstrução com cola epóxi (Araldite®), na região do bulbo que se comunica com o quarto ventrículo, e nas aberturas laterais e mediana do IV ventrículo (forames de Luschka e de Magendie).	37
Figura 9	Realização da TC (Tomografia Computadorizada) das peças cadavéricas.....	38
Figura 10	TC das peças pré-injeção de água. Observa-se, em C e D, a localização intra-aquedutal do cateter, demonstrando uma condição simulatória de obstrução aquedutal.	38

Figura 11	Termostato externo e termômetro químico	39
Figura 12	Crânio em posição para trepanação	40
Figura 13	Marcação do ponto de Kocher (2,5 cm lateral a linha média e 1 cm a frente da sutura coronal)	40
Figura 14	Trepanação no ponto de Kocher	41
Figura 15	Introdução do endoscópio e visualização das estruturas ventriculares	41
Figura 16	Esquema da sequência experimental realizada	41
Figura 17	(A) Cérebro 2 antes do experimento. (B) Cérebro 2 pós-experimento, evidenciando dilatação ventricular. (C) Cérebro 5 antes do experimento. (D) Cérebro 5 pós-experimento, evidenciando dilatação ventricular.	45
Figura 18	(A) Cérebro 1 antes do experimento. (B) Cérebro 1 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular. (C) Cérebro 4 antes do experimento. (D) Cérebro 4 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular.	46
Figura 19	(A) Cérebro 3 antes do experimento. (B) Cérebro 3 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular.	46
Figura 20	(A) Cérebro 7 antes do experimento. (B) Cérebro 7 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular. (C) Cérebro 9 antes do experimento. (D) Cérebro 9 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular.	47
Figura 21	(A) Cérebro 10 antes do experimento. (B) Cérebro 10 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular. (C) Cérebro 14 antes do experimento (D) Cérebro 14 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular.	48
Figura 22	(A) Cérebro 16 antes do experimento. (B) Cérebro 16 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular. (C) Cérebro 20 antes do experimento. (D) Cérebro 20 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular.	49
Figura 23	Evidenciando a transudação transependimária, diminuindo a eficácia da dilatação ventricular.	65

Figura 24	Neuroendoscopia realizada em modelos experimentais, observam-se: (A) Pc (Plexo corioideo), Sp (Septo pelúcido). (B) Cp (Comissura posterior) e Aq (Aqueduto cerebral). (C) Fi (Forame interventricular), Cf (Coluna do fórnice) e Ca (Comissura anterior). (D) Rt (Recesso triangular), Ca (Comissura anterior), Lt (Lâmina terminal) e Tat (Tubérculo anterior do tálamo).	87
Figura 25	Neuroendoscopia realizada em modelos experimentais, observam-se: (A) Cm (Corpos mamilares) e Tc (Tuber cinéreo). (B) Qo (Quisma óptico), Lt (Lâmina terminal), Tc (Túber cinéreo) e Cm (Corpos mamilares). (C) Lt (Lâmina terminal), Cf (Coluna do fórnice), Ca (Comissura anterior) e Ta (Tálamo). (D) Cm (Corpos mamilares), Tc (Tuber cinéreo) e Ri (Recesso infundibular).	88
Figura 26	Neuroendoscopia realizada em modelos experimentais observam-se: (A) Ca (Comissura anterior), Fi (Forame interventricular) e Cf (Coluna do fórnice). (B) Cm (Corpos mamilares) e Tc (Tuber cinéreo). (C) Fi (Forame interventricular) e Cf (Coluna do fórnice).....	88
Figura 27	Curso Latino Americano de Neuroendoscopia	89
Figura 28	Laboratório - aplicabilidade dos modelos anatômicos de ventriculomegalia	89
Figura 29	Uso da neuronavegação magnética acoplada a neuroendoscopia no modelo anatômico de ventriculomegalia	90
Figura 30	X Congresso Brasileiro de Neurocirurgia Pediátrica	91
Figura 31	Laboratório experimental.....	91
Figura 32	Uso da neuronavegação magnética acoplada a neuroendoscopia no modelo anatômico de ventriculomegalia	92

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Dados referentes à idade, ao sexo e ao peso dos encéfalos (g) antes da realização do experimento	35
Tabela 2	Cálculo na TC pré-experimento e na TC pós-experimento do índice de Evan, Coeficiente CF/DI e corno temporal dos cérebros	50
Tabela 3	Resultados do índice de Evan (%), Coeficiente CF/DI (%) e Corno Temporal (cm) por meio do teste t pareado.	51

RESUMO

Ferreira CD. *Modelo anatômico de ventriculomegalia para treinamento neuroendoscópico* [Tese]. São Paulo: Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo; 2015.

OBJETIVO: Desenvolver peças anatômicas que simulem uma condição real de ventriculomegalia para serem utilizadas como uma ferramenta no treinamento dos neurocirurgiões nas técnicas de neuroendoscopia e viabilizar estudo anatômico dos ventrículos. **MÉTODO:** Foram utilizadas vinte peças anatômicas de encéfalo de cadáveres de indigentes, com a aprovação do Comitê de Ética em pesquisa da FMUSP sob o número 046/10. As peças foram retiradas da base do crânio com a persistência da superfície óssea (parte da calvária) para serem submetidas aos seguintes procedimentos: canulação do IV ventrículo por meio da abertura mediana do IV ventrículo (forame de Magendie); tomografias pré-experimento e injeção de água destilada no sistema ventricular. A água injetada estava à temperatura ambiente e os cérebros foram resfriados até 4° C e, após 12 horas, foram congelados a uma temperatura de 0° C (no estado sólido) por 24 horas. Esses procedimentos foram realizados na frequência de três vezes. Após o experimento, foram realizadas tomografias pós-experimento e procedimentos neuroendoscópicos ventriculares. Foram excluídos encéfalos com lesões traumáticas ou antecedentes de enfermidades transmissíveis. Não foram critérios de exclusão o sexo e a idade. Foram avaliadas, nas imagens tomográficas, a variação pré e pós-experimento dos seguintes parâmetros: coeficiente corno frontal/diâmetro interno; índice de Evan; e tamanho do corno temporal. As análises estatísticas foram realizadas no programa SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) versão 13, para ambos os grupos. **RESULTADOS:** A avaliação da relação Corno frontal/Diâmetro interno, antes e pós-experimento apresentou média de 11,98% e 19,46%, respectivamente. Estudo estatístico (t Student) mostrou diferença estatística ($t = -5142$, $gl = 19$; $p < 0,01$). O Índice de Evan também apresentou diferença significativa ($t = -5,172$, $gl = 9$; $p < 0,01$) entre os resultados antes (média de 10,86%) e após experimento (média de 18,35%). A análise do tamanho do corno temporal mostrou diferença significativa entre os grupos antes e depois do experimento ($t = -2,297$, $gl = 9$; $p < 0,01$), indicando que o tamanho mediano do Corno Temporal é maior após o experimento (média de 2,65cm). **CONCLUSÕES:** A exploração das características físico-químicas anômalas da molécula da água pode nos fornecer um bom mecanismo expensor de cavidades ventriculares para a indução de ventriculomegalia em uma peça anatômica de encéfalo, em que o endoscópio poderá ser introduzido pelas vias habituais, podendo, assim, realizar observação anatômica e simular o procedimento cirúrgico com a mesma sensibilidade tátil que irá encontrar no procedimento real.

Descritores: Modelos anatômicos; Cadáver; Neuroendoscopia; Hidrocefalia; Encéfalo; Educação médica; Médicos residentes; Terceiro ventrículo/cirurgia.

ABSTRACT

Ferreira CD. *Ventriculomegaly anatomical models for neuroendoscopy training* [Thesis]. São Paulo: "Faculdade de Medicina, Universidade de São Paulo"; 2015.

PURPOSE: To develop anatomical models which simulate real conditions of ventriculomegaly and to use them as tools to train neuroendoscopic techniques and allow the study of the ventricles. **METHODS:** A total of twenty brains, with the approval of the Ethics in Research Committee from FMUSP (046/10) were used to perform this research. The brains were separated from the skull base, but keeping part of the calvaria, and then underwent the following procedures: cannulation of the fourth ventricle through the median open of the fourth ventricle (foramen of Magendie); CT scans performed before the experiment; and then injection of distilled water into the ventricular system. The water was injected at room temperature, and then the brains were cooled to 4°C. After 12 hours, they were then frozen at 0°C for 24 hours. These procedures were repeated three times. After the experiment, CT scans were performed after the injections and neuroendoscopic procedures. Brains, which had traumatic injuries or history of infectious diseases, were excluded. Gender and age were not exclusion criteria. The statistical analysis was performed with the SPSS program (Statistical Package for the Social Sciences) version 13, for both groups. To assess the variation of the frontal horn (FH)/internal diameter (ID) coefficient, such as Evan's index's variation, and to analyze the temporal horn (TH) size, the t-Student test was used. **RESULTS:** The results of the t-Student test showed that the FH/ID, with an average of 11.98% before the experiment, had significant difference ($t = -5.142$, $gl = 19$; $p < 0.01$) after the experiment, with an average of 19.46%. The Evan's index also showed a significant difference ($t = -5.172$, $gl = 9$; $p < 0.01$) with an initial average of 10.86% and a final average of 18.35%. The analysis of the temporal horn size showed a significant difference between the size before and after the experiment ($t = -2.297$, $gl = 9$; $p < 0.01$), indicating the significant increase of the temporal horn (with an initial average of 0.02cm and a final average of 2.65cm). **CONCLUSIONS:** The use of the anomalous physical and chemical characteristics of water can provide us with a good expanding mechanism of the ventricular system, creating ventriculomegaly in anatomical models, allowing the endoscope to be introduced by the usual approaches, to perform anatomical observation, and to simulate a surgical procedure with the same sensitivity of a real procedure.

Descriptors: Anatomical models; Cadaver; Neuroendoscopy; Hydrocephalus; Encephalus; Medical education; Residents medical; Third ventricle/surgery.

1 INTRODUÇÃO

1 INTRODUÇÃO

As hidrocefalias ocasionadas por estenoses intraventriculares ou entre o sistema ventricular e o espaço subaracnoideo da fossa posterior possuem como tratamento mais eficaz as derivações internas. Procedimentos cirúrgicos, tais como a terceiroventriculostomia endoscópica (TVE) e reconstrução do aqueduto (aquedutoplastia), que eram realizados via craniotomia aberta com alto índice de morbidade e mortalidade, podem ser realizados com menos risco, por meio da neuroendoscopia¹⁻¹⁵

Além do tratamento das hidrocefalias, são descritas outras indicações das neuroendoscopias: microcirurgia assistida por endoscopia^{16,17}, fenestração de cistos aracnoideos intracranianos, patologias do ângulo ponto-cerebelar, tumores sólidos intraventriculares^{18,19}, colocação de cateteres para derivação ventricular^{20,21}, ventriculostomias e septostomias de ventrículos isolados^{9,22}, desobstruções e retiradas do cateter proximal²³, no manejo da neurocisticercose²⁴, no tratamento de cistos supraselares²⁵, em fenestrações do septo pelúcido, na terapia cirúrgica da estenose aquedutal de Sylvius²³, drenagem de hematoma subdural crônico²⁶ e remoções de tumores císticos intraventriculares²⁷. Entretanto, é importante ressaltar que esse aumento nas indicações de neuroendoscopia tem algumas implicações de possibilidades de falhas na realização do procedimento, que podem causar alguns problemas, como a perfuração da artéria basilar, lesão talâmica, lesão da haste hipofisária com consequentes hemorragias incontroláveis, déficits motores ou sensitivos e diabetes insipidus²⁸⁻³⁰. Essas falhas podem ser ocasionadas por algumas variações anatômicas encontradas durante a cirurgia ou são causadas por erros nos procedimentos realizados³¹.

Com o crescimento de processos por erros médicos, em vários países do mundo, muitos centros de treinamento em Neurocirurgia, principalmente em países desenvolvidos, estão tomando a atitude de prevenção, em que os preceptores estão evitando fornecer cirurgias endoscópicas aos residentes, mesmo sob supervisão.

Por esse motivo, o desenvolvimento de plataformas de simulação cirúrgica é essencial para a redução dos riscos de erros no período intraoperatório, potencialmente graves, resultantes da inexperiência³².

Esta realidade suporta a necessidade de desenvolvimento de um currículo para se criar um ambiente seguro e adequado de aprendizagem que também preveja a avaliação objetiva das habilidades do residente à medida que progride. Isto irá potencializar e facilitar, mas é claro que nunca suplantará, treinamento cirúrgico tradicional³³.

Vários métodos de ensino e treinamento auxiliam na redução de complicações de procedimentos médicos e diminuem o tempo de aprendizado, podendo ser agrupados em quatro categorias: treinamento em espécimes cadavéricas, utilização de modelos animais, simuladores de realidade virtual e treinamento em modelos físico-sintéticos³⁴.

A prática com cada um desses modelos apresenta vantagens e desvantagens que ainda estão sendo elucidadas em vários processos de validação. A escolha do modelo de treinamento mais adequado deve levar em consideração, entre outras coisas, a eficácia, a validade, o custo- eficiência e a versatilidade³⁵.

Simuladores são utilizados para assemelhar determinadas situações de aprendizagem. O uso de modelos experimentais cadavéricos reduz os riscos para os pacientes, pois trabalhar com modelos acelera o processo de ensino e aprendizagem, sendo uma técnica de ensino que não depende da disponibilidade dos pacientes, turnos cirúrgicos e não há limites de participantes. Vários autores defendem a tese de que os modelos experimentais não somente contribuem para aperfeiçoamento técnico-cirúrgico do neurocirurgião, mas também os impulsiona para formular novas teorias que tentam estabelecer a cirurgia cada vez menos invasiva^{16,36,37}. O treinamento cirúrgico dos novos cirurgiões e dos neurocirurgiões sem experiência em neuroendoscopia deve ser realizado em laboratório por meio de modelos anatômicos experimentais¹⁶.

A implementação de modelos experimentais, assim como o treinamento neles, são parte de uma fase que é pré-requisito e indispensável a cumprir para uma posterior utilização de qualquer ferramenta diagnóstica e terapêutica

em humanos utilizando um neuroendoscópio. A omissão desse tipo de treinamento se torna um atentado contra a ética médica³⁶. A neuroendoscopia também pode ser utilizada para o estudo (por médicos residentes) da anatomia do sistema ventrículo-cisternal encefálico a fim de comparar a anatomia cadavérica àquela que se encontra nos ambientes cirúrgicos reais.

A exploração das características físico-químicas anômalas da molécula da água pode nos fornecer um bom mecanismo expensor de cavidades ventriculares para a criação de ventriculomegalia numa peça anatômica de encéfalo, em que o endoscópio poderá ser introduzido pelas vias habituais, podendo, assim, realizar observação anatômica e simular o procedimento cirúrgico real com a mesma sensibilidade tátil que se encontra no procedimento real³⁸. Dessa maneira, o projeto viabiliza um estudo experimental que possa fornecer suporte anatômico ao neurocirurgião, a fim de utilizar o método endoscópico terapêutico mais seguro, sem riscos de produzir lesões em estruturas anatômicas importantes e fornecer pleno conhecimento do território explorado durante a endoscopia, aprimorando a capacidade de tomar decisões adequadas e rápidas, especialmente em momentos críticos e delicados.

Mixter (1923) provou que as técnicas neuroendoscópicas seriam possíveis desde que houvesse treinamento e aperfeiçoamento nelas por meio de modelo de hidrocefalia em cérebros de cadáveres³⁹.

2 OBJETIVOS

2 OBJETIVOS

A carência de modelos afins na literatura e a necessidade de evitar que o paciente seja a única fonte de treinamento para o procedimento da Neuroendoscopia nos motivaram o desenvolvimento do presente trabalho embasado nos seguintes objetivos:

1. Criar modelo anatômico experimental em encéfalos humanos que simulem a condição de ventriculomegalia, servindo como método de treinamento de neuroendoscopias ventriculares;
2. Mostrar, através de imagens fotografadas por via endoscópica, a anatomia ventricular sob perspectiva do neuroendoscópio.

3 REVISÃO DA LITERATURA

3 REVISÃO DA LITERATURA

A hidrocefalia é sugerida quando há uma das seguintes possibilidades objetivas^{40,41} (Figura 1):

1. O tamanho dos cornos temporais (CT) é maior ou igual a 2 mm em largura. Na ausência de hidrocefalia, os cornos temporais devem ser poucos visíveis;
2. Coeficiente do corno frontal (CF) e o Diâmetro interno (DI) da medida de uma a outra tábua interna neste nível for maior que 0,5.
 $CF/DI < 40\%$ - NORMAL.
 $CF/DI 40-50\%$ - LIMÍTROFE.
 $CF/DI > 50\%$ - SUGERE HIDROCEFALIA
3. Índice de Evan: Coeficiente de CF em relação ao diâmetro biparietal máximo (DBPmáx) $> 30\%$.

Figura 1 - Figura evidenciando os métodos de análise quantitativa de dilatação ventricular

Outras possibilidades subjetivas:

1. Abaulamento dos cornos frontais e dos ventrículos laterais (ventrículo de “Mickey Mouse”) e III ventrículo;

2. Baixa densidade periventricular na TC ou sinal de alta intensidade periventricular na incidência ponderada em T2 da Ressonância Magnética (RM), sugerindo edema transependimária⁴⁰.

3.1 Neuroendoscopia

3.1.1 Histórico da Neuroendoscopia

O conhecimento histórico permite avaliar não somente a evolução dessa técnica cirúrgica, como conhecer determinadas situações que envolveram os pesquisadores e foram de extrema importância para que o desenvolvimento da Neuroendoscopia fosse realizado de uma maneira mais consolidada.

A partir do fim dos anos 60, início dos anos 70, a melhoria da técnica endoscópica permitiu a exploração de maneira rotineira de grande parte do corpo humano. Nessa época, o uso da endoscopia se desenvolveu rapidamente entre os cirurgiões urológicos e, depois, entre os cirurgiões gerais e ginecologistas. A cirurgia neuroendoscópica surgiu nas primeiras décadas do século XX e seu desenvolvimento esteve sempre relacionado ao tratamento das hidrocefalias, apresentando, atualmente, indicações no tratamento da estenose do aqueduto cerebral, obstruções por tumores, malformação de Dandy-Walker, cistos da fossa posterior, hemorragias intraventriculares e hidrocefalias multisseptadas^{16,35}.

Historicamente, a utilização da técnica endoscópica no tratamento neurocirúrgico não é recente. Nitze, em 1870, já tinha desenvolvido um “trem de lentes” e construiu o primeiro endoscópio⁴².

Em 1910, o urologista americano L'Espinasse utilizou um pequeno cistoscópio para coagular o plexo corioideo de duas crianças com hidrocefalia, marcando a primeira neuroendoscopia realizada; ambas faleceram no pós-operatório imediato³⁵. Dandy, considerado o pai da Neuroendoscopia, foi pioneiro na área cirúrgica minimamente invasiva, criando o termo ventriculoscópio e realizando a ventriculoscopia (com auxílio do citoscópio de Kelly), com a finalidade de extirpar o plexo corioideo em pacientes com

hidrocefalia comunicante⁴³. Foi realizada a fenestração da lâmina terminal, por meio de uma craniotomia, utilizando uma abordagem transfrontal. Nesse último trabalho, Dandy foi incapaz de realizar o procedimento devido à precariedade do instrumental e passou a considerar que a Neuroendoscopia apresentaria pouca aplicabilidade, mesmo após a idealização da terceiroventriculostomia endoscópica utilizando acesso subfrontal para fenestrar o assoalho do terceiro ventrículo, técnica que sacrificava o nervo óptico do paciente⁴³.

Fay e Grant⁴⁴ falharam ao tentar criar uma fístula no corpo caloso entre os ventrículos laterais e o espaço subaracnoideo, mas Jason Mixter, no mesmo ano, realizou a primeira terceiroventriculostomia bem-sucedida em criança de nove meses de idade apresentando hidrocefalia não comunicante, obtendo redução da circunferência cefálica e do abaulamento fontanelar. Dessa forma, Mixter provou que as técnicas neuroendoscópicas seriam possíveis, desde que houvesse treinamento e aperfeiçoamento dos cirurgiões por meio de modelo de hidrocefalia em cérebros de cadáveres³⁹.

Putnam, trabalhando com o uretroscópio de Mixter, tratou uma série de crianças com hidrocefalia comunicante coagulando o plexo corioideo ventricular. Devido às dificuldades pelo colapso das paredes dos ventrículos laterais, experiência já descrita por Dandy, desenvolveu seu próprio endoscópio o qual apresentava dois eletrodos, permitindo que os plexos corioideos fossem destruídos sem que o líquido fosse removido. Reportou, ainda, 42 casos de plectomia corioidianas por via endoscópica com 11 insucessos no pós-operatório (26%), 15 insucessos tardios (35%) e 17 sucessos (40%) quanto ao controle da pressão intracraniana, com resultados superiores aos da que havia chamado de velha série⁴⁵.

Scarff prevê a importância da ventriculostomia e desenvolve um ventriculoscópio para coagulação do plexo corioideo².

Nesse período, a maior limitação para o desenvolvimento técnico da Neuroendoscopia era o instrumentário, mesmo com as contribuições de Scarff, que aperfeiçoou o neuroendoscópio com sistema de lentes anguladas, eletrodo monopolar flexível e sistema de irrigação. A técnica foi sendo deixada de lado, especialmente quando Nulsen e Spitz desenvolveram o sistema de derivação

ventrículo-jugular para o controle da hidrocefalia, técnica semelhante à derivação ventriculoperitoneal^{2,46}.

A integração do sistema óptico, desenvolvido por Hopkins e Griffith (1977) nos aparelhos endoscópicos, no final dos anos 40 e início dos anos 50, marcou um grande aperfeiçoamento no campo da endoscopia. Aprimorou o sistema de lentes, desenvolvendo o chamado “sistema de lentes ar-em-vidro”, o que levou ao aumento significativo da iluminação dos novos endoscópios quando comparados aos endoscópios anteriormente disponíveis. Deste modo, o diâmetro exterior do endoscópio rígido passou para 3 milímetros, a transmissão luminosa foi multiplicada dez vezes e o ângulo de visão se estendeu até 70 graus⁴⁷.

Na década de sessenta, Hopkins inovou com o sistema de iluminação por fibras ópticas flexíveis permitindo maior campo visual e nitidez das estruturas anatômicas, sendo usado por Griffith na década de setenta, que reportou vinte e três casos de hidrocefalia tratados com coagulação do plexo corioideo (1990), 52% de pacientes curados⁴⁷.

Guiot *et al.* (1963) criaram o uso de técnicas endoscópicas na cirurgia hipofisária e para drenagem de lesões císticas intracerebrais, mas com aplicação limitada em razão da utilização de um endoscópio rígido de 8,2 mm de diâmetro⁴⁸. Ogata *et al.* desenvolveram um encefaloscópio, telescópio rígido de diâmetro exterior de 3,1 mm, munido de uma sonda guia, de uma fonte luminosa e de uma câmera⁴⁹.

No Brasil, Forjaz *et al.* descreveram uma nova técnica de ventriculostomia hipotalâmica percutânea com o uso concomitante de um cateter de nelaton com múltiplos furos⁵⁰. Contudo, esta técnica não foi considerada endoscópica. Foi utilizada em 15 pacientes, havendo um controle à hipertensão intracraniana em 12 deles. Outro importante avanço foi a criação do ventriculofibroscópio, por Fukushima⁵¹, que apresentava dimensões reduzidas e utilizava potente fonte de luz de xenon. Ele reportou experiência com 37 procedimentos, sendo que apenas 15 relacionados com hidrocefalia. Relatou 11 casos de biopsia de tumores e 4 casos de drenagem por punção de cistos. Dessa forma, a técnica neuroendoscópica passou a ser utilizada em outras situações que não hidrocefálicas, apresentando indicações, ainda hoje, não totalmente definidas.

Sayers e Kosnik, em 1976, reportaram 46 casos de ventriculostomia percutânea, e Vries, com o uso de endoscópio no auxílio do posicionamento do cateter ventricular por meio de um material em fibra óptica^{47,52}.

O uso da terceiroventriculostomia endoscópica para tratamento da hidrocefalia foi reportada em 1991, por Castro, como a técnica preferencial para o tratamento da hidrocefalia obstrutiva⁵³. Essa foi a primeira publicação nacional brasileira do uso desta técnica. As principais indicações do uso da neuroendoscopia cerebral foram relatadas por Zymberg e Cavalheiro, ressaltando o equipamento necessário e o histórico da neuroendoscopia³⁵.

Na última década, essa técnica passou a ser o tratamento de escolha para a hidrocefalia obstrutiva.

3.1.2 Indicações

Bauer e Hellwig, em 1994, sugeriram o uso da neuroendoscopia na realização dos seguintes procedimentos⁵⁴:

- Tratamento endoscópico da hidrocefalia;
- Endoscopia estereotática;
- Ressecção endoscópica de processo cístico, hematoma intracerebral, hematoma subdural septado e abscesso cerebral, tumores;
- Intervenção endoscópica raquiana.

3.2 Anatomia endoscópica da via de acesso

Para realização da terceira ventriculostomia endoscópica, é necessária ampla base anatômica de toda a região a ser abordada. Certamente, um dos elementos mais importantes para o sucesso de intervenções endoscópicas no sistema ventricular é a habilidade do neurocirurgião em reconhecer as estruturas anatômicas e utilizar essa informação para orientação⁵⁵.

A importância do conhecimento da anatomia endoscópica ventricular, especificamente do III ventrículo, torna-se evidente quando se tem noção de que, dentre as complicações com o uso do neuroendoscópio, as que mais se destacam são as que tiveram acesso pelo III ventrículo, tais como lesão do ápex da artéria basilar e da coluna do fórnix. Quando se realizam tentativas de fenestrações laterais do assoalho do III ventrículo, uma das complicações que pode ocorrer é a lesão do III nervo craniano (nervo oculomotor), além de algumas artérias pré-mamilares^{55,56}. A endoscopia passa a constituir uma parte integrante e importante do espectro de procedimentos minimamente invasivo na neurocirurgia⁵⁷.

Aydin *et al.* (2009) afirmam que, quando se faz uso desse tipo de intervenção cirúrgica, devem-se observar estruturas anatômicas que servirão de referência topográfica, dentre as quais, destacam-se as estruturas dos ventrículos laterais que nos guiam ao acesso do III ventrículo (forame de Monro, plexo corioideo, veia septal, veia tálamo-estriada) e as que formam o assoalho deste ventrículo (quiasma óptico, infundíbulo e túber cinéreo)⁵⁸.

3.2.1 Ventrículos laterais

De fato, o conhecimento da anatomia endoscópica dos ventrículos laterais é de grande importância, pois, na prática, a maioria dos acessos ao III ventrículo é feita por esses ventrículos por meio dos forames interventriculares. A abertura de acesso ao cérebro é, convencionalmente, a frente da sutura coronal, 2 a 3 cm da linha média, que corresponde à linha médio-pupilar⁵⁹.

Os ventrículos laterais são cavidades situadas profundamente na massa telencefálica, apresentando-se como grandes cavidades que se estendem em torno do tálamo⁶⁰. Em seu interior, circula o LCR. O volume deste dentro dos ventrículos de um adulto é em torno de 120-150 cm³ e, nas crianças, 40-60 cm³.⁶¹

Os ventrículos laterais são formados, basicamente, por 5 partes: corno frontal, corno temporal, corno occipital, átrio e corpo. Anatomicamente, as 5 partes do ventrículo lateral possuem paredes medial, lateral, teto e assoalho. A

maioria das relações anatômicas desses ventrículos se faz com o corpo caloso, tálamo, fórnice, hipocampo, septo pelúcido, núcleo caudado e substância branca cerebral profunda⁵⁵.

Como se sabe, os ventrículos laterais comunicam-se com o III ventrículo a partir de um forame, de aspecto oval, denominado de forame interventricular (ou forame de Monro)⁵⁵.

Cada ventrículo lateral envolve as superfícies superior, inferior e posterior do tálamo, estrutura diencefálica. O corpo do ventrículo lateral encontra-se sobre o tálamo; o átrio e o corno occipital estão localizados posteriormente; e o corno temporal possui localização inferior e lateral ao tálamo⁵⁵.

O núcleo caudado (considerado um dos núcleos da base) apresenta três porções para estudo anatômico: cabeça, corpo e cauda. A cabeça do núcleo caudado é uma estrutura proeminente, que se projeta lateralmente ao corno frontal e parte do corpo do ventrículo lateral. O corpo do núcleo caudado forma a parede lateral do átrio, e a cauda estende-se do átrio ao teto do corno temporal⁵⁵ (Figura 2).

Fonte: Laboratório de Anatomia da Universidade Federal da Paraíba-UFPB

Figura 2 - Demonstração de algumas estruturas anatômicas do sistema ventricular, dentre elas: (1) tronco do corpo caloso; (2) esplênio do corpo caloso; (3) cabeça do núcleo caudado; (4) corpo do núcleo caudado; (5) trígono colateral.

O fórnice corresponde ao conjunto de fibras, denominadas de fibras do trato hipocampo-mamilar, que se originam do hipocampo, do subículo e do giro denteado do lobo temporal (Figura 3). É formado, anatomicamente, por perna, corpo e coluna. Na junção do átrio com o corpo do ventrículo lateral, as pernas do fórnice se unem para formar o corpo, que se dirige para frente, ao longo da margem súpero-medial dos tálamos, na parede medial do corpo do ventrículo lateral. O corpo do fórnice se divide em duas colunas que se curvam ao longo da margem anterior do forame interventricular, seguindo em direção aos corpos mamilares⁶⁰.

O corpo caloso, maior das comissuras inter-hemisféricas, contribui para a formação da parede de cada uma das cinco divisões do ventrículo lateral. O joelho e o corpo do corpo caloso formam o teto de ambos os cornos frontais e o corpo dos ventrículos laterais⁵⁵. O tapete, que se origina da parte posterior do corpo e do esplênio do corpo caloso, diverge lateral e inferiormente para formar o teto e a parede lateral do átrio e dos cornos temporal e occipital⁶⁰.

O septo pelúcido, formado por duas películas de tecido nervoso, separa os cornos frontais e os corpos dos ventrículos laterais na linha média. O comprimento anteroposterior do septo pelúcido varia de 28 a 50 mm⁵⁵.

Fonte: Laboratório de Anatomia da Universidade Federal da Paraíba-UFPB

Figura 3 - Peça demonstrando algumas estruturas anatômicas: (1) pé do hipocampo; (2) corpo do hipocampo; (3) trígono colateral; (4) calcar avis; (5) giro longo da ínsula; (6) sulco central da ínsula; (7) giros curtos da ínsula; (8) tela corioideia; (9) eminência colateral.

3.2.1.1 Corno frontal

O corno frontal do ventrículo lateral, também chamado de corno anterior, localiza-se anteriormente ao forame interventricular, apresentando como limite anterior e teto o joelho do corpo caloso. Por não conter plexo corioideo, não apresenta formação de quantidade substancial de LCR. A sua parede medial é determinada pelo septo pelúcido (terço anterior) e colunas do fórnix (região pósterio-inferior). O assoalho é formado pelo rostro do corpo caloso e a parede lateral pela cabeça do núcleo caudado⁶⁰.

Segundo Fujii *et al.*⁶¹, o tamanho aproximado do forame interventricular é de 5x3mm, e a distância do teto até a margem superior desse forame é, em média, de 1,8cm. A distância deste até a superfície do giro frontal médio é de 3,2 cm. A distância entre a margem anterior do corno frontal e o ponto central do forame interventricular foi determinada em 3,2 cm, variando de 2,9-4,2%. No forame interventricular, ocorre a confluência venosa entre a veia caudada anterior e veia tálamo-estriada do grupo lateral e veia coroideia anterior e superior, bem como veias septais⁵⁵.

A margem posterior do forame é formada, principalmente, pelo ângulo de reflexão do plexo corioideo, que se projeta da luz do ventrículo lateral até o III ventrículo para entrar na composição do tecto desta cavidade. O plexo corioideo é a estrutura mais fidedigna para encontramos o forame interventricular, pois as estruturas venosas podem estar ausentes ou muitas, vezes, não visíveis claramente. Uma vez identificado o plexo corioideo, basta segui-lo progressivamente para frente e encontrar o forame interventricular⁵⁹.

3.2.1.2 Corpo

O corpo do ventrículo lateral se estende da margem posterior do forame interventricular ao ponto em que o septo pelúcido desaparece, e o corpo caloso e o fórnix se encontram. O teto é formado pelo corpo do corpo caloso; a parede medial é formada pelo septo pelúcido, acima, e pelo corpo do fórnix, abaixo; a parede lateral é formada pelo corpo do núcleo caudado; e o assoalho

é formado pelo tálamo. O núcleo caudado e o tálamo são separados pela estria terminal⁶².

3.2.2 Terceiro ventrículo

O terceiro ventrículo é uma cavidade ímpar localizada na linha média do cérebro, com formato de fenda, unilocular. Apresenta cerca de 5 cm³. O terceiro ventrículo é facilmente visto por meio do acesso ao forame de Monro. Uma maior exposição deste ventrículo pode ser obtida por meio do corte do segmento terminal da veia tálamo estriada⁶³. O III ventrículo estabelece comunicação com os ventrículos laterais justamente pelo forame interventricular e, posteriormente, com o IV ventrículo pelo aqueduto cerebral⁵⁸.

Geralmente, a área de suas paredes costuma variar entre 235-785mm² e tem como média 515mm². Sua largura em indivíduos com terceiro ventrículo maduro é de 5,5mm. Indivíduos entre 56 e 65 anos podem apresentar um aumento dessa largura, que passa a se apresentar com 11,2mm⁵⁵.

O conhecimento da disposição das estruturas anatômicas do assoalho do III ventrículo e das estruturas circunvizinhas é de extrema importância para o advento da terceiroventriculostomia⁵⁸. Seu assoalho é formado por estruturas como, em seu sentido ântero-posterior: quiasma óptico, infundíbulo, túber cinéreo, corpos mamilares e parte do tegmento mesencefálico (Figura 4). O quiasma óptico funde-se anteriormente com a lâmina terminal, inclinando-se posterior e superiormente desde a junção com o nervo óptico. Já o infundíbulo tem forma de funil, estando localizado entre o quiasma óptico e o tuber cinéreo. Tem coloração amarelo-avermelhado⁶⁰.

A abordagem endoscópica ao terceiro ventrículo deve envolver esforços efetivos para proteger e função endócrina do hipotálamo. Portanto, deve ser dada maior atenção à estrutura e anatomia cirúrgica da região. A área localizada entre o infundíbulo e os corpos mamilares é composta de células gliais apenas. Isso indica que as intervenções endoscópicas devem ser confinadas a esta região, diminuindo a susceptibilidade de quaisquer danos neuronais. Apesar das inúmeras intervenções dessa natureza em pacientes

pediátricos, existem muito poucos danos neurológicos permanentes relatados na literatura⁵⁸.

Fonte: Laboratório de Anatomia da Universidade Federal da Paraíba-UFPB

Figura 4 - Peça demonstrando as seguintes estruturas anatômicas: (1) aderência intertalâmica; (2) recesso óptico; (3) coluna do fórnice; (4) corpos mamilares; (5) recesso infundibular; (6) lâmina terminal; (7) comissura posterior; (8) aqueduto cerebral.

3.2.3 Relações arteriais

Durante o procedimento cirúrgico, é necessário o maior cuidado possível, pois, ao perfurar o assoalho do terceiro ventrículo, é potencialmente perigoso uma lesão do ápex da artéria basilar e artérias perfurantes, caracterizando uma das complicações da terceiroventriculostomia. Aydin *et al.* verificaram que a distância entre o ápex da artéria basilar e o centro do assoalho do III ventrículo variava entre 2,75 e 6,54 mm⁵⁸.

3.2.4 Relações venosas

As paredes dos ventrículos laterais, III ventrículo e cisternas basais guardam importante relação com o sistema venoso profundo. Dessa forma, as abordagens direcionadas do ventrículo lateral para o terceiro ventrículo são

dificultadas. A região da parede posterior, átrio, região pineal e cisterna perimesencefálica é o local mais provável em que a veia cerebral interna converge com a veia basal em direção à veia de Galeno. As veias que drenam as substâncias brancas e cinzenta se juntam para formar canais subependimais nas paredes dos ventrículos laterais. A veia cerebral interna recebe veias que conduzem sangue do corno frontal, corpo do ventrículo lateral e substância cinzenta e branca ao redor; já as que estão vindo do corno temporal drenam para a veia basal. Além disso, tanto a veia basal como a cerebral interna e a cerebral magna drenam o átrio e partes adjacentes do cérebro⁶⁰. Por serem pequenas e dificilmente vistas nos ventrículos laterais, as artérias não são fiéis pontos de referência anatômica. Por isso, tentamos nos orientar pelas veias, uma vez que são mais visíveis por meio do epêndima. Outra particularidade é que, durante cirurgias em pacientes com hidrocefalia em que os ângulos normais entre as estruturas normalmente visíveis desaparecem, usamos como referência as veias⁵⁵.

3.3 Experimentos Pré-Clínicos Realizados

A primeira ilustração do sistema ventricular humano é uma atribuição de Leonardo da Vinci, em 1490⁶⁴. Leonardo di ser Piero da Vinci (Florença, 1452 – Cloux, 1519), importante artista do Renascimento, inventor e cientista, injetou, em 1505, substâncias solidificantes dentro dos ventrículos encefálicos, removeu todo o tecido nervoso e construiu o primeiro modelo do sistema ventricular⁶⁵.

Walter Dandy e Kenneth Blackfan, na Universidade e Escola de Medicina John Hopkins, Baltimore, criaram o primeiro modelo de hidrocefalia experimental em animais, em 1913. O bloqueio do aqueduto cerebral de cães foi feito com pequenos pedaços de algodão e, em seguida, obstruindo seletivamente o forame interventricular direito, demonstrando que os animais não teriam desenvolvido hidrocefalia se o plexo corioideo fosse removido⁶⁶.

O conhecimento da anatomia ventricular sob perspectiva endoscópica é necessário para entender e programar as estratégias cirúrgicas a serem

realizadas em procedimentos minimamente invasivos³⁶. O paciente não pode ser o laboratório da cirurgia experimental. Daí, introduzir a neuroendoscopia em modelos como uma primeira aproximação de novas técnicas cirúrgicas torna-se uma atitude imperativa¹⁶.

Cobo *et al.* relataram suas experiências com o uso de simuladores para treinamento neuroendoscópico e neuroanatômico; realizaram um curso pré-congresso, em novembro de 2002, no hospital “*Hermanos Ameijeiras*”, durante o VII Congresso Cubano de Cirurgia. Nesse curso, dos quais participaram 12 profissionais (8 especialistas e 4 residentes em neurocirurgia), foram utilizados simuladores confeccionados com cérebros de cadáveres formolizados e pré-embalados em sacos de *nylon* para simular a dura-máter encefálica e reter o soro fisiológico (que foi utilizado como simulador do líquido, injetado pelas cavidades ventriculares). As preparações de cérebro-dura-máter se instalaram cerca de 3 cm cortados em nível do Násio e até 3 cm acima da Protuberância Occipital externa e equipados com dobradiças que permitissem a alteração do seu conteúdo. Durante as práticas do curso, o endoscópio foi introduzido pelas vias habituais até os Ventrículos laterais, Forame Interventricular, III Ventrículo e Cisternas da Base, que eram referências locais utilizadas para as operações reais. Foram realizadas várias rotas para a observação e o estudo anatômico do sistema ventricular e cisternal, ocorrendo simulações de operações, como, por exemplo: fenestração pré-mamilar para tratamento de hidrocefalia, biopsias de corpo pineal e simulação de ajuda na colocação ou remoção de derivação do sistema ventricular. Os participantes expressaram suas opiniões sobre os aspectos negativos e positivos do estudo em simulação de modelos. Todos manifestaram uma valorização positiva dos modelos docentes e vários deles se interessaram em aplicações deste simulador em serviços de neurocirurgia em todo o país de Cuba³⁷.

Santorcuato realizou uma oficina de simulação humano-artificial para treinamento e estudo de técnicas neuroendoscópicas intraventriculares, intitulado como “Técnicas Endoscópicas em Neurocirurgia” ocorrida no Chile, entre 31 de agosto e 1º de setembro de 2007; participaram da oficina 11 profissionais. Utilizou-se um crânio sintético e cérebro fixado em formalina extraído de autópsias médicas, e com corte axial realizado a partir do Násio até

o Ínion, separando a calota da base do crânio. Colocou-se o modelo experimental em posição cirúrgica, decúbito neutro-dorsal, com flexão de 15 graus no plano horizontal. O sistema de fixação do crânio sintético foi especialmente desenhado para o trabalho em cabeça de cadáveres (semelhante à fabricação elaborada por Aesculap®, Germany). Foi utilizado um endoscópio rígido, modelo Minop de Aesculap®, em 0 e 30 graus. Usou-se um motor elétrico para trepanação de crânios (Hilan de Aesculap®) e instrumental específico para endoscopia ventricular (Aesculap®). Com o sistema já montado, realizou-se a trepanação a 3 cm da linha média (simulando a linha médio-pupilar) e 2 cm pré-coronal de cada lado do crânio. Uma vez no ventrículo lateral, foi injetado nas cavidades soro fisiológico para aumentar o espaço e reconhecer as estruturas anatômicas (plexo corioideo, septo pelúcido, forame interventricular, paredes ventriculares). Por meio do forame interventricular, acessou-se o terceiro ventrículo com o intuito de, novamente, identificar estruturas anatômicas (infundíbulo e corpos mamilares) e, posteriormente, realizou-se a fenestração do assoalho do terceiro ventrículo com cateter Fogarty3F (simulando terceiroventriculostomia). Também foram acessadas as cisternas da base a fim de identificar estruturas anatômicas (artéria basilar, artéria cerebelar superior, artéria cerebral posterior, nervo oculomotor e clivus). Os resultados do experimento em seis preparações foram satisfatórios³⁶.

Alvarez-Peña *et al.* (2000) elaboraram modelos experimentais para neuroendoscopia cerebral, com a principal finalidade de que os neurocirurgiões adquirissem as competências necessárias para a aplicação do treinamento obtido com peças experimentais em pacientes com necessidade neurocirúrgica³¹.

O estudo, realizado em 3 fases, utilizou 28 cadáveres bovinos, 48 cadáveres humanos e 5 pacientes com patologia cerebral (confirmada por tomografia computadorizada ou ressonância magnética) e indicados para neuroendoscopia. Nas duas fases iniciais, foram aplicados diferentes volumes de solução salina (soro fisiológico) para gerar uma ventriculomegalia. O sistema ventricular bovino foi infundido com diferentes volumes, escolhidos arbitrariamente, de solução salina: 70 mL no grupo A e 50 mL no grupo B para

alcançar uma hidrocefalia artificial, sem afetar as estruturas intraventriculares, utilizando um lensoscópio de 2 mm de diâmetro, 170° de angulação e 18 cm de comprimento. O critério para considerar como êxito a abordagem neuroendoscópica foi de visualizar a tríade de estruturas intraventriculares: plexo corioideo, forame interventricular e ângulo venoso. Manteve-se a cabeça em uma posição pendular de modo a evitar que, em consequência do corte, o líquido escapasse do sistema ventricular e espaço subaracnoideo, e estes se colapsassem e houvesse a entrada de ar, o que geraria uma interface hidroaérea alterando trabalhos futuros. Não se utilizaram substâncias que pudessem selar temporariamente o forame magno ou a dura-máter em torno deste, pois era possível uma lesão em sentido ascendente ocasionada por pressão das estruturas encefálicas. O sistema ventricular humano cadavérico foi infundido com soro fisiológico em volumes de 150 mL e 70 mL. Foram incluídos, nesta fase, cadáveres cujo estado de decomposição não impedia a realização dos procedimentos, além daqueles que não tiveram lesões traumáticas aparentes no crânio, antecedentes conhecidos de doença transmissível ou estavam sob investigação policial. Não foram critérios de exclusão sexo ou idade³¹.

Evidenciou-se a sutura coronal, realizando uma incisão linear até o lado direito do osso frontal, paralelo à sutura coronal, que aponta para um centro por 2 cm à frente dela e 2,5 cm para direita da sutura intraparietal e, em seguida, achou-se o ponto em que houve exposição da dura com um trépano de 12 mm de diâmetro. Em seguida, cortou-se com bisturi número 15 para ver a superfície cerebral. Posteriormente, introduziu-se a agulha de Cushing até, aproximadamente, 4 cm a 4,5 cm de profundidade, visualizando-se, nessa posição, o aparecimento do epêndima ventricular, evitando perda do líquido. A solução salina foi infundida na forma de soro fisiológico em volume de 150 mL, no grupo A, e 70 mL, no grupo B, para gerar hidrocefalia artificial que permitisse a visualização do sistema ventricular. Foi necessário pressionar a infusão de soro de modo contínuo para clarear o campo visual enturvado por detritos. Em primeiro plano, foram observados os plexos corioideos, que estavam dispostos entre as paredes laterais e inferior do ventrículo lateral com direção ao forame interventricular, o qual estava na confluência das veias

tálamo-estriada e septal formando o ângulo venoso, também presente em cérebros de ruminantes. Localizando essas estruturas, foi alcançado o terceiro ventrículo pelo forame interventricular, visualizando o assoalho e as estruturas anatômicas presentes nessa área, no caso, os corpos mamilares. Na fase 3, utilizaram-se pacientes com hidrocefalia, passível de ser tratada pela técnica neuroendoscópica, na qual a dilatação ventricular permitia a visualização das estruturas intraventriculares mais importantes. As patologias foram detectadas previamente por um exame de tomografia axial computadorizada ou ressonância magnética nuclear. Não foram critérios de exclusão: a natureza adquirida ou congênita das lesões; a ausência ou presença de hidrocefalia; ter recebido um manejo neurocirúrgico prévio; sexo ou idade. As posições adotadas para aplicação do neuroendoscópio nessa fase foram: decúbito dorsal lateralizado com a cabeça em posição neutra, no caso 1; decúbito dorsal com flexão da cabeça até 30 graus com lesões no terceiro ventrículo, nos casos 2 e 4; posição sentada durante a primeira cirurgia e decúbito ventral para lesões do corno posterior na segunda intervenção para o caso 3; e decúbito dorsal com cabeça em posição neutra no caso 5³¹.

Romero *et al.* realizaram um estudo com 47 cadáveres humanos adultos com o objetivo de analisar a anatomia endoscópica dos ventrículos laterais e terceiro ventrículo. No estudo, foi relatada dificuldade de punção em comparação com ventrículos de pacientes com hidrocefalia⁵⁶.

Além de modelos experimentais cadavéricos, vários autores têm relatado uso de modelos artificiais como alternativas viáveis e eficazes para treinamento neuroendoscópico, podendo, inclusive, simular lesões intraventriculares e serem usados com neuronavegação (uma vez que esses são compatíveis com RM)^{34,67-69}. Esses modelos são feitos com uma borracha termo-sensível e termo-retrátil chamada Neoderma®, que, ao se misturar com polímeros, produz cerca de 30 fórmulas diferentes, as quais apresentam consistência e textura semelhantes a vários tecidos humanos^{34,67-69}. Esses modelos artificiais feitos com Neoderma® foram denominados S.I.M.O.N.T. (*Sinus Model Oto-Rhino Neuro Trainer*) e A.S.P.E.N. (*Anatomical Simulator for Pediatric Neurosurgery*), e podem ser usados em treinamento cirúrgico endoscópico intraventricular, de base de crânio e de seios da face^{34,67,68,70}. As principais vantagens relatadas

pelos autores são: baixo custo (quando comparado com simuladores virtuais); facilidade de manuseio, limpeza e armazenamento; capacidade de simular ventriculomegalia e lesões intraventriculares^{34,67-69}.

3.4 Propriedades Físicas da Água

Segundo Van Wylen (2003), a água, quando aquecida de 0°C-4°C, tem sua densidade aumentada (quando deveria diminuir). Somente quando aquecida acima dos 4°C é que se observa a real dilatação de seu volume. Para explicar essa particularidade da água (um paradoxo apenas aparente), é necessário explicitar o estudo de sua estrutura atômica⁷¹. Ilustremos isso (Figura 5):

Fonte: Van Wylen *et al.*, 2003⁷¹

Figura 5 - Fisicamente, as moléculas de água interagem entre si de uma forma ordenada, ou seja, cada uma delas pode atrair somente a quatro outras moléculas vizinhas, cujos centros, como resultado dessa união, formam um tetraedro

Como consequência, forma-se uma estrutura granulosa e organizada, que confere o caráter quase cristalino (pseudocristalino) da água. Subentende-se que, quando se fala da estrutura da água, como de qualquer outro líquido, ocorre referência unicamente à ordenação limitada. Um líquido se assemelha mais a um cristal do que aos gases, e isso é indicado pela similitude dos valores das densidades, dos calores específicos e dos coeficientes de dilatação volumétrica dos líquidos e cristais. Também se sabe que o calor de

fusão é consideravelmente menor que o calor de vaporização. Todos esses fatores testemunham a notável analogia das forças de coesão das partículas nos cristais e nos líquidos. Uma consequência dessa analogia é, também, a presença nos líquidos de certa ordenação na distribuição de seus átomos, comprovada nos experimentos da dispersão dos raios-X e que recebe o nome de "ordenação limitada". Ordenação limitada quer dizer que existe uma distribuição ordenada ao redor de um átomo (molécula) arbitrariamente escolhido com certo número de outros átomos (moléculas) em sua proximidade. Ao contrário do que ocorre nos cristais, essa distribuição ordenada, com relação a um dado átomo escolhido, não se conserva à medida que nos afastamos dele e não conduz a uma formação do retículo cristalino (Figura 6). Todavia, para distâncias pequenas, é bastante semelhante à disposição dos átomos da substância considerada no estado sólido⁷¹.

Fonte: Van Wylen *et al.*, 2003⁷¹

Figura 6 - Em (a), representação de uma ordenação ilimitada para uma cadeia de átomos, a qual se compara com a ordenação limitada, em (b)

À medida que cresce a distância com respeito à molécula considerada (centro do tetraedro), apreciar-se-á, gradualmente, a alteração dessa ordenação devido à flexão e ao rompimento das ligações intermoleculares (rompimento de pacotes d'água)⁷¹.

As ligações entre as moléculas dessa estrutura tetraédrica, à medida que aumenta a temperatura, vão se rompendo paulatinamente e, com isso, cresce o número de moléculas livres que passam a ocupar os espaços vazios dessa estrutura, o que acarretará na diminuição do caráter quase cristalino da água. A estrutura tetraédrica desses aglomerados na água, como substância quase cristalina – e o posterior empacotamento – explica devidamente a anomalia das

propriedades físicas da água e, em particular, sua anomalia frente à dilatação térmica⁷¹.

Por um lado, o aumento da temperatura conduz ao aumento das distâncias médias entre os átomos de cada molécula devido ao aumento das amplitudes de oscilação deles no interior das moléculas e, por outro lado, o aumento de temperatura provoca um rompimento da estrutura organizada dos aglomerados, o que, naturalmente, conduz a um empacotamento mais compacto das mesmas moléculas⁷¹.

O primeiro efeito (efeito das oscilações) deve conduzir a uma diminuição da densidade da água. Esse é o efeito corrente da dilatação térmica dos sólidos. O segundo (efeito do rompimento da estrutura), pelo contrário, deve conduzir a um aumento da densidade da água à medida que é aquecida. Ao aquecermos a água até os 4°C, prevalece o segundo efeito (empacotamento) e, por essa razão, sua densidade aumenta. Acima dos 4°C começa a prevalecer o efeito das oscilações (distanciamento), e, por isso, a densidade da água diminui⁷¹.

4 MATERIAL E MÉTODOS

4 MATERIAL E MÉTODOS

Foram utilizadas vinte peças anatômicas de encéfalo de cadáveres de indigentes, com a aprovação do Comitê de Ética em pesquisa da FMUSP, sob número 046/10 (Anexo A). As peças foram preparadas no laboratório de Anatomia da UFPB, com aprovação do Departamento de Morfologia da UFPB (Anexo B). Foram incluídos encéfalos que não apresentavam lesões traumáticas nem antecedentes de enfermidades transmissíveis. Não foram critérios de exclusão o sexo e a idade (Tabela 1).

Tabela 1 - Dados referentes à idade, ao sexo e ao peso dos encéfalos (g) antes da realização do experimento

	Idade	Sexo	Peso (g)
C1	63	M	1537
C2	21	M	1325
C3	45	F	1280
C4	29	M	1453
C5	38	M	1476
C6	52	M	1370
C7	22	F	1415
C8	34	M	1543
C9	60	F	1269
C10	32	M	1725
C11	53	M	1561
C12	47	M	1472
C13	41	M	1297
C14	23	F	1327
C15	35	F	1378
C16	49	M	1569
C17	64	M	1602
C18	28	M	1548
C19	33	M	1711
C20	20	F	1393

Para a criação de uma condição de ventriculomegalia, foram seguidos os passos apresentados abaixo:

- 1 - Procedeu-se a retirada do couro cabelo com a utilização materiais cirúrgicos adequados (tesoura de metzenbaum curva e reta, cabo de bisturi nº 4, entre outros).
- 2 - O crânio foi cortado por meio de uma linha que vai da glabella à protuberância occipital externa (Figura 7), passando pela escama do temporal, com serra de autópsia. Permaneceu sem osso a porção basal do lobo frontal, parte da porção lateral do lobo temporal, porção basal do lobo temporal, assoalho do terceiro ventrículo (diencefalo), cerebelo e tronco cerebral. No momento da retirada do encéfalo, teve-se o cuidado de deixar íntegro o infundíbulo e a hipófise (Figura 8).
- 3 - Foi realizada canulação do quarto ventrículo, com sonda uretral descartável siliconizada (esterilizada por raio gama cobalto 60) da markmed®, nº10, por meio da abertura mediana do IV ventrículo (forame de Magendie), cateterizando o aqueduto cerebral (de Sylvius) (Figura 8).

Figura 7 - Cortes tomográficos - O crânio foi cortado por meio de uma linha que vai da glabella à protuberância occipital externa.

Figura 8 - Canulação do forame de Magendie e obstrução com cola epóxi (Araldite®), na região do bulbo que se comunica com o quarto ventrículo, e nas aberturas laterais e mediana do IV ventrículo (forames de Luschka e de Magendie).

- 4 - Foram obstruídas com cola epóxi (Araldite®, formada por resinas epóxi e poliaminas), 5mL, a região do bulbo que se comunica com o quarto ventrículo, as aberturas laterais e mediana do IV ventrículo (forames de Luschka e de Magendie), e a fissura corioidea para que não houvesse extravasamento da água posteriormente injetada (Figura 8).
- 5 - Realizada a tomografia computadorizada (marca TOSHIBA® e modelo ASTEION), na Universidade Federal da Paraíba, com cortes de 3mm em plano axial antes da injeção de água destilada pela sonda (Figura 9 e 10).

Figura 9 - Realização da TC (Tomografia Computadorizada) das peças cadavéricas.

Figura 10 - TC das peças pré-injeção de água. Observa-se, em C e D, a localização intra-aquedutal do cateter, demonstrando uma condição simulatória de obstrução aquedutal.

- 6 - Em seguida, foram injetados 150 mL de água destilada na temperatura ambiente com seringa de 20 mL e colocados no refrigerador a uma temperatura de até 4°C com o intuito de preencher todo o espaço do sistema ventricular (terceiro ventrículo e ventrículos laterais), em um período de 12 horas.
- 7 - As peças foram levadas para o congelador para que fossem resfriadas a uma temperatura de 0°C (no estado sólido); com o tronco cerebral voltado para cima. Utilizamos o freezer com o termostato (sensor de temperatura) externo e termômetro químico de mercúrio (Figura 11).

Figura 11 - Termostato externo e termômetro químico

- 8 – Vinte e quatro horas depois de terem sido levados ao congelador, os encéfalos foram retirados do processo de congelamento para que retornassem à temperatura ambiente, em um tempo esperado de 5 horas.
- 9 - Os procedimentos de 6 a 8 foram realizados mais duas vezes observando as seguintes alterações:
 - a) Na primeira vez, foi injetado 9% de 150 mL que foi o volume inicial, ou seja, utilizou-se 13,5mL;
 - b) Na segunda vez, foi injetado 9% da soma dos volumes anteriores (150 mL + 13,5 mL), que resultou em 14,7 mL.

Em seguida, foram injetados 16 ml de água destilada apenas para confirmar a última dilatação de 9%.

- 10 - E, por fim, foi realizada tomografia computadorizada para se obter o cálculo do corno temporal, CF/DI e índice de Evan.
- 11 - Executado furo de trépano com broca neurocirúrgica – MACOM®, ponto de Kocher (2,5cm à direita da linha média e 1 cm à frente da sutura coronal); abertura dura com bisturi lâmina 11; introduzido o neuroendoscópio GAAB–STORZ®; realizada a neuroendoscopia com fotos e filmagem das principais estruturas ventriculares como o plexo corioideo, forame interventricular, veia septal anterior, veia

tálamo-estriada, a angulação das veias, corpos mamilares, túber cinéreo, infundíbulo, quiasma óptico, carrefour ventricular, septo pelúcido (Apêndices A,B,C). O endoscópio utilizado foi o GAAB-STORZ® associado a outros elementos da mesma marca, como: lente de 0°, monitor de vídeo, câmera e cabo de luz (Figuras 12 a 15).

O esquema do experimento pode ser visualizado na Figura 16.

Figura 12 - Crânio em posição para trepanação

Figura 13 - Marcação do ponto de Kocher (2,5 cm lateral a linha média e 1 cm a frente da sutura coronal)

Figura 14 - Trepanação no ponto de Kocher

Figura 15 - Introdução do endoscópio e visualização das estruturas ventriculares

Figura 16 - Esquema da sequência experimental realizada

As análises estatísticas foram realizadas no programa SPSS (*Statistical Package for the Social Sciences*) versão 13. Para analisarmos a variação entre o coeficiente corno frontal/diâmetro interno, índice de Evan e tamanho do corno temporal antes e após o experimento, foi utilizado o teste *t* de Student para amostras pareadas.

Após o término do estudo, as peças anatômicas foram devolvidas ao laboratório de Anatomia da UFPB e serão utilizadas nas aulas de Neuroanatomia.

5 RESULTADOS

5 RESULTADOS

Foram selecionadas algumas imagens tomográficas (Figuras 17 a 22).

Figura 17 - (A) Cérebro 2 antes do experimento. (B) Cérebro 2 pós-experimento, evidenciando dilatação ventricular. (C) Cérebro 5 antes do experimento. (D) Cérebro 5 pós-experimento, evidenciando dilatação ventricular.

Figura 18 - (A) Cérebro 1 antes do experimento. **(B)** Cérebro 1 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular. **(C)** Cérebro 4 antes do experimento. **(D)** Cérebro 4 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular.

Figura 19 - (A) Cérebro 3 antes do experimento. **(B)** Cérebro 3 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular.

Figura 20 - (A) Cérebro 7 antes do experimento. **(B)** Cérebro 7 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular. **(C)** Cérebro 9 antes do experimento. **(D)** Cérebro 9 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular.

Figura 21 - (A) Cérebro 10 antes do experimento. (B) Cérebro 10 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular. (C) Cérebro 14 antes do experimento (D) Cérebro 14 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular.

Figura 22 - (A) Cérebro 16 antes do experimento. (B) Cérebro 16 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular. (C) Cérebro 20 antes do experimento. (D) Cérebro 20 pós experimento, evidenciando dilatação ventricular.

A peças anatômicas C7, C9, C10 e C16 apresentaram aumento de 100% do coeficiente CF/DI, as peças C7, C10, C14, C16 e C20 apresentaram aumento de 100% do índice de Evan. As peças C7, C10 e C16 tiveram aumento de ambos os coeficientes (Tabela 2).

O resultado do teste t Student mostrou que a CF/DI com média de 11,98% antes do experimento tem diferença significativa ($t = -5,142$, $gl = 19$; $p < 0,01$) da CF/DI depois do experimento com média de 19,46%. O Índice de Evan também apresentou diferença significativa ($t = -5,172$, $gl = 9$; $p < 0,01$) entre os resultados antes (média de 10,86%) e após experimento (média de 18,35%). A análise do tamanho do corno temporal mostrou diferença significativa entre os grupos antes e depois do experimento ($t = -2,297$, $gl = 9$;

$p < 0,01$), indicando que o tamanho mediano do Corno Temporal é maior após o experimento (média de 2,65cm) (Tabela 3).

Tabela 2 - Cálculo na TC pré-experimento e na TC pós-experimento do índice de Evan, Coeficiente CF/DI e corno temporal dos cérebros

	Antes da injeção de água destilada			Após a injeção de água destilada		
	Coeficiente CF/DI	Índice de Evan	Corno Temporal	Coeficiente CF/DI	Índice de Evan	Corno Temporal
C1	12 %	11 %	0 cm	20 %	18 %	0 cm
C2	14 %	13 %	0 cm	15 %	14,4 %	2,4 cm
C3	11 %	12 %	0 cm	15,2 %	15 %	2,1 cm
C4	16 %	14,9 %	0 cm	27 %	28 %	3,2 cm
C5	18 %	15 %	0 cm	25 %	26 %	3,1 cm
C6	18 %	17 %	0 cm	13 %	12 %	2,4 cm
C7	7 %	8 %	0 cm	18 %	19 %	2,3 cm
C8	7 %	7,5%	0 cm	13 %	13 %	3,0 cm
C9	10 %	11 %	0 cm	21 %	18 %	2,6 cm
C10	7,5 %	8 %	0 cm	28 %	26 %	3,2 cm
C11	11 %	10 %	0 cm	20 %	19 %	2,8 cm
C12	12,5%	11 %	0 cm	19 %	17,5%	2,9 cm
C13	15 %	13,8%	0,1 cm	22 %	20,3%	2,5 cm
C14	9 %	7 %	0 cm	16 %	15 %	3,0 cm
C15	17 %	14 %	0,2 cm	26 %	25 %	3,5 cm
C16	8 %	5,4%	0 cm	18 %	15 %	3,2 cm
C17	6 %	5 %	0 cm	7,5%	6,2%	2,2 cm
C18	12 %	10,5%	0 cm	18,5%	17,5%	2,7 cm
C19	13 %	12 %	0 cm	21 %	19 %	2,9 cm
C20	15,5%	11%	0 cm	26 %	23 %	3,0 cm

A Tabela 3, abaixo, apresenta os resultados do teste t para dados emparelhados de $n = 20$ pares das seguintes variáveis (antes x após): Coeficiente CF/DI (%), Índice de Evan (%) e Corno Temporal (cm). Foi utilizado o pacote estatístico SPSS – versão 13 – na obtenção dos resultados.

Tabela 3 - Resultados do índice de Evan (%), Coeficiente CF/DI (%) e Corno Temporal (cm) por meio do teste t pareado

VARIÁVEIS	Média (antes)	Média (após)	Dif. Média ⁽⁺⁾	Estatística t., (g.l.)	Dif. Média IC: 95%	Sig. p-valor (*)
Coeficiente CF/DI	11,98	19,46	-7,48	t = -5,142 g.l. = 19	-9,83 ; -5,14	P=0,00
Índice de Evans	10,86	18,25	-7,49	t = -5,172 g.l. = 19	-9,81 ; -5,17	P=0,00
Corno Temporal	0,02	2,65	-2,63	t = -2,297 g.l. = 19	-2,97 ; -2,30	P=0,00

Legenda: Dif. med: diferença média; resultados estatisticamente significativos: ^(*) p-valor<0,01; teste t: Estatística t-student, g.l. = graus de liberdade= n-1 =19 (n=20, n° de pares)

Como se vê na Tabela 3, todas as três variáveis, Coeficiente CF/DI (%), Índice de Evan (%) e Corno Temporal (cm) apresentaram resultados ou diferenças estatisticamente significativas, fornecendo os seguintes resultados:

- CF/DI: estatística t = -5,142, gl = 19 e significância p-valor = 0,000 < 0,01
- Í_Evan: estatística t = -5,172, gl = 9 e significância p-valor = 0,000 < 0,01
- CTemp: estatística t = -2,297, gl = 9 e significância p-valor = 0.000 < 0.01

OBS: O **teste t** realizado para dados emparelhados foi “**unilateral à esquerda**”, adotando-se nível de significância $\alpha = 0,05$ (5%) ou 0,01 (1%).

HIPÓTESES ESTATÍSTICAS:

Hipótese nula $\rightarrow H_0: \mu_{\text{antes}} = \mu_{\text{após}}$ (suposta verdadeira e colocada à prova)

versus

Hipótese alternativa ou experimental $\rightarrow H_1: \mu_{\text{antes}} < \mu_{\text{após}}$

Decisão sob a hipótese H_0 : Se o valor $t_{\text{cal}} \leq -t_{n-1; \alpha}$ (valor tabelado) ou equivalentemente, se a significância p-valor $\leq \alpha$ (nível de significância adotado), então, há evidências estatísticas significativas para aceitar a hipótese alternativa.

6 DISCUSSÃO

6 DISCUSSÃO

O processo evolutivo, em curso, da Neuroendoscopia só foi possível com a influência mútua de melhores técnicas diagnósticas e aumento do conhecimento da anatomia microcirúrgica, associados às refinadas instrumentações neurocirúrgicas, especialmente à introdução do microscópio cirúrgico e endoscópios com lentes de boa resolução, além de estratégias terapêuticas. Mesmo com a descrença mútua de vários pesquisadores que marcaram o histórico da neuroendoscopia, o empenho e a coragem de singulares cientistas foram de fundamental importância para que os arcaicos instrumentos utilizados para tal técnica cirúrgica fossem gradativamente melhorados até alcançarem o seu apogeu em rotinas médicas contemporâneas.

Neuroendoscopia é uma cirurgia a quatro mãos, devendo o cirurgião e o auxiliar trabalharem de forma harmônica. Para isso, faz-se necessário que ambos tenham conhecimento pleno da anatomia bidimensional endoscópica.

Ainda que não tão modernos como nos dias atuais, os ensaios pioneiros de ventriculoscopia constituem o fundamento de outros trabalhos que conduziram progressivamente ao bom êxito da Neuroendoscopia, à medida que os instrumentos cirúrgicos iam sendo adaptados e aperfeiçoados. Contudo, não se pode deixar em segundo plano a importância dos primeiros estudos topográficos da anatomia ventricular atribuídos a ilustres e memoráveis pesquisadores, tais como da Vinci e Vesalius, que ultrapassaram as barreiras impostas pela religiosidade, e pelo conceito ético e moral da sociedade de seus tempos. O conhecimento histórico permite avaliar não somente a evolução dessa técnica cirúrgica, mas também conhecer determinadas situações que ocorreram com pesquisadores e foram de extrema importância para que o desenvolvimento da neuroendoscopia fosse realizado de maneira sólida.

Atualmente, muito se tem estudado a respeito da fisiopatologia e classificação da hidrocefalia. Greitz, ao estudar o conceito hidrodinâmico da hidrocefalia, a divide em aguda e crônica, sendo esta última relacionada à

diminuição da complacência intracraniana com consequente aumento da pressão sistólica no parênquima cerebral^{72,73}. Rekate propôs um modelo de classificação baseado no ponto de obstrução do fluxo de LCR, relatando o tratamento para cada local de restrição do fluxo. Além disso, o mesmo autor reconhece e discute a hidrocefalia comunicante, de pressão normal e pseudotumor cerebral⁷⁴.

O apanhado bibliográfico realizado a propósito do estudo da fisiopatologia da hidrocefalia nos permite atribuir métodos de tratamento de acordo com a respectiva classificação e agravos (hipertensão, coma, cefaleia, vômitos, etc.) dessa patologia. A hidrocefalia não comunicante ou obstrutiva, causada, principalmente, por tumores ou anomalias congênitas, é a que mais comumente leva à síndrome da hipertensão intracraniana, sendo tratada de modo emergencial por meio da realização de derivação ventricular (derivação extracraniana). Contudo, estudos recentes viabilizam a técnica da terceiroventriculostomia como um adjuvante terapêutico no advento da hidrocefalia não comunicante. Já a hidrocefalia comunicante, causada por meningite, hemorragia subaracnoidea e papilomas de plexo corioideo, também repercute em aumento da pressão intracraniana (ocorrendo sintomas fidedignos desta síndrome). O tratamento dessa forma de hidrocefalia é a realização de derivação extracraniana, acompanhado de tratamento adjuvante para alívio do quadro agudo que porventura tenha desencadeado o problema neurológico. Dentre as indicações da Neuroendoscopia, destacam-se: tratamento endoscópico da hidrocefalia, tratamento endoscópico de processo cístico, hematoma intracerebral, hematoma subdural septado e abscesso cerebral, biopsia cerebral, hidrocefalia de pressão normal e hidrocefalia multiloculada^{54,56,74}.

Greitz descreveu a importância da terceiroventriculostomia endoscópica na hidrocefalia crônica como uma alternativa eficaz na interrupção do ciclo vicioso causado pela diminuição da complacência intracraniana^{72,73}. Di Rocco, por sua vez, descreveu a presença de espessamento aracnoideo ao redor do tronco encefálico em pacientes com hidrocefalia de pressão normal, sendo essa obstrução entre os espaços subaracnoides cortical e espinhal a explicação para o sucesso terapêutico da TVE nesses pacientes^{74,75}.

Pinto *et al.* compararam a TVE com DVP em 42 pacientes estudados, avaliando a recuperação neurológica funcional 12 meses após o tratamento. Nesse estudo, os autores descreveram melhores resultados com a utilização dos *shunts* peritoneais, apesar de menores taxas de complicações com a TVE. Dessa forma, o tratamento endoscópico poderia ser uma vantagem em pacientes com maior idade, em virtude da presença de menos comorbidades⁷⁶.

Conhecer a fisiopatologia da hidrocefalia e possuir todo um aparato cirúrgico capaz de tratar essa doença não seria suficiente se não houvesse um estudo anátomo-descritivo de toda a anatomia do sistema ventricular.

Com o advento da Neuroendoscopia contemporânea, que foi respaldada no avanço tecnológico de lentes e da intensidade luminosa dos endoscópios, as indicações para a Neurocirurgia endoscópica têm aumentado. A sua utilização é bem estabelecida para o tratamento de diversas patologias. Para isso, é necessário um treinamento prévio que viabilize ao neurocirurgião uma situação simuladora da realidade que doravante será encontrada nas cirurgias. Vários autores^{16,36,37} defendem a tese de que os modelos experimentais não somente contribuem para aperfeiçoamento técnico-cirúrgico do neurocirurgião, como os impulsiona a formular novas teorias que tentem estabelecer a cirurgia cada vez menos invasiva.

Na atualidade, várias foram as tentativas de se estabelecer uma simulação que consiga atuar no treinamento de neurocirurgiões. Foram criados programas virtuais, modelos sintéticos, e modelos cadavéricos humanos e animais com essa proposta inicial. Ao longo dos anos, várias propostas foram desenvolvidas e consolidadas para experimentos e manutenção dos modelos simuladores. Destacam-se, entre elas, as que incapacitavam o uso de programas virtuais como modelos simuladores de hidrocefalia. O experimento em programas cibernéticos de realidade virtual para a simulação de procedimentos neurocirúrgicos não fornecem ao profissional a sensibilidade da consistência cerebral (sensibilidade tátil), indispensável para a experiência em tais procedimentos. Além disso, é um método muito dispendioso, uma vez que utiliza grandes linhas de produção de *softwares*, que, por sua vez, demandam altos investimentos em tecnologia^{36,37}.

Cobo *et al.* citam que o uso de materiais sintéticos como simuladores neuroendoscópicos não fornecem ao estudante um conceito natural do ambiente cirúrgico, uma vez que não há como idealizar um encéfalo natural com materiais sintéticos³⁷. A melhor proposta que definiu essa incapacitação é de Santocuato, quando afirma: “[...] *Em relação aos ambientes virtuais, ainda que sejam bem desenvolvidos, falta-lhes a plasticidade necessária para singular sensibilidade tátil vital nos treinamentos cirúrgicos de habilidades manuais, com custos elevados [...]*”³⁶.

A proposta da utilização de modelos sintéticos como simuladores neuroendoscópicos ainda é motivo de controvérsia por parte de alguns autores. Santorcuato defende o uso de modelo híbrido (utilização de materiais cadavéricos e sintéticos artificiais). Os modelos artificiais são de alto custo e falta a necessária variabilidade anatômica e a sensação de estar sujeito a uma verdadeira estrutura, com todas as dificuldades envolvidas. A hibridização é um método de grande valia pelo fato de que a manutenção é mínima e não é necessária uma ampla infraestrutura³⁶.

Do nosso ponto de vista, a utilização de material sintético como simulador de hidrocefalia é um método dispendioso e que exige uma infraestrutura muito ampla e, ao mesmo tempo, é necessária parceria com empresas que possuam interesse nesse tipo de pesquisa específica. Ainda que Santorcuato defenda que o modelo híbrido seja reproduzível em diferentes locais e ambientes de maneira fácil, é incomparável a simulação obtida pelo material cadavérico em relação ao sintético. Para a confecção do modelo sintético, é necessário programação da produção e depende, diretamente, de uma grande escala a ser fabricada pela empresa, o que dificulta e torna esse tipo de modelo menos viável. Este custo inviabilizaria sua inserção nos serviços de residência do nosso país, que são, em sua maioria, serviços públicos. Dessa forma, modelos cadavéricos, disponíveis em serviços de formação, podem ser aproveitados com boa reprodutibilidade e menos ônus.

Romero *et al.*, no seu estudo com 47 cadáveres humanos adultos com o objetivo de analisar a anatomia endoscópica dos ventrículos laterais e terceiro ventrículo, tiveram dificuldade de punção em comparação com ventrículos de pacientes com hidrocefalia, dificuldade esta que tivemos apenas em alguns

casos, visto a ventriculomegalia induzida por nossa metodologia. Além disso, os autores relatam vantagens semelhantes encontradas no nosso trabalho, como ausência de sangramento, possibilidade de estudo anatômico, modelo capaz de possibilitar treinamento eficaz e situação real, uma vez que utiliza cérebros de humanos⁵⁶.

O presente trabalho simulou aumento das cavidades ventriculares através da dilatação anômala da água; não sendo realizado, portanto, um modelo com hipertensão liquórica intraventricular. Por essa razão, foi usado nesse trabalho o termo ventriculomegalia em vez de hidrocefalia.

Além disso, alguns autores preconizam o uso de modelos artificiais S.I.M.O.N.T. (*Sinus Model Oto-Rhino Neuro Trainer*) e A.S.P.E.N. (*Anatomical Simulator for Pediatric Neurosurgery*) que usam borracha Neoderma®^{34,67-70}. Esses modelos apresentam facilidades no manuseio, limpeza e conservação em relação a modelos cadavéricos, porém não possuem a mesma sensibilidade tátil que em humanos, como relatado por 4 neurocirurgiões dos 37 entrevistados no estudo realizado por Zymberg *et al.*⁶⁸. Coelho *et al.* acrescentam a importância do uso de modelos artificiais pediátricos, uma vez que o conhecimento usado nessa população é, muitas vezes, obtido por meio de treinamento em modelos de adultos³⁴. Guimarães *et al.* e Coelho *et al.* relatam que os modelos cadavéricos são amplamente utilizados no treinamento microneurocirúrgico, porém pouco no neuroendoscópico devido à ausência da ventriculomegalia nos cadáveres, o que foi simulado pela metodologia por nós preconizada^{34,69}.

Os trabalhos de Santorcuato e Cobo *et al.* sintetizam a ideia de que o modelo anatômico cadavérico é de fundamental importância para que se tenha uma abordagem mais próxima possível do ambiente cirúrgico^{36,37}. Alvarez-Peña *et al.* defendem a tese de que modelos animais podem ser utilizados em modelos experimentais, baseando-se na similaridade entre o cérebro bovino e humano³¹. Afirmam, ainda, que o sistema ventricular da cabeça de um bovino satisfaz os requisitos anatômicos mínimos para constituir um modelo experimental inicial de neuroendoscopia em seres humanos, na medida em que ambos possuem ventrículos laterais que se comunicam com o terceiro ventrículo por meio de forames. Além disso, a veia septal, tálamo-estriada, o

ângulo venoso e os corpos mamilares, que são essenciais pontos anatômicos de reparo no interior sistema ventricular, são similares em humanos e bovinos^{31,77}.

Para Santorcuato e Cobo *et al.*, o trabalho com animais não fornece a similaridade anatômica que relata uma experiência válida no momento da cirurgia, e é contra o custo de manutenção dos animais, além do protocolo jurídico para seu uso. A semelhança anatômica dos cérebros dos animais com os cérebros humanos ainda é motivo de controvérsia^{36,37}. Ainda que alguns trabalhos demonstrem uma similaridade entre cérebros bovinos e humanos, as dimensões destes são diferentes, assim como o próprio plexo corioideo bovino e humano⁹⁵. Do ponto de vista dimensional, para simular uma hidrocefalia em cadáveres humanos e bovinos, utilizam-se diferentes volumes. Nos trabalhos de Alvarez-Peña *et al.*, observou-se que, para conseguir uma dilatação ventricular dos cérebros bovinos (Fase 1), foi necessário o volume de 70 mL, enquanto que, em cérebros humanos (Fase 2), utilizou-se o volume de 150 mL³¹.

Ficou difícil comparar a nossa metodologia com a metodologia de Alvarez-Peña, pois esta não trazia nenhum dado numérico de nenhuma variável antes, nem após a infusão do soro fisiológico; e nem sequer imagem pré e pós-experimento, referindo apenas que houve dilatação após a infusão de 150 mL de soro fisiológico. O autor relata como êxito, na fase 2 do seu trabalho, a visualização de algumas estruturas ventriculares. É bom salientar que estruturas ventriculares podem ser visualizadas em cadáver, mesmo sem nenhum tipo de infusão de substância, não traduzindo dilatação ventricular³¹.

Nos trabalhos já publicados acerca da temática de desenvolvimento de modelos experimentais em hidrocefalia^{16,31,36,37}, não há referência aos métodos radiológicos pré ou pós-experimentos, ou afins, que confirmem ou quantifiquem a ocorrência da ventriculomegalia. Além disso, a utilização do soro fisiológico como substância perfundida pelas cavidades ventriculares não é justificada em nenhum dos trabalhos já publicados, visto que esse não apresenta propriedades químicas ou físicas dilatadoras.

A utilização dos modelos anatômicos humanos é, provavelmente, o padrão-ouro nos modelos experimentais simulatórios em neuroendoscopia. No

entanto, não é fácil obter corpos para o trabalho no laboratório e, ainda, requer infraestrutura para a boa conservação³⁶.

Optamos por manter o crânio da linha que se estende da glabella à protuberância occipital externa na tentativa de exercer uma força contrária ao movimento de expansão do encéfalo como um todo e para contrapor a dilatação ventricular, evitando-se, assim, o aparecimento de um crescimento proporcional do ventrículo e do encéfalo concomitantemente. Essa força contrária permitirá que a expansão dos ventrículos comprima o encéfalo na parede do osso, assim como ocorre numa situação real de hidrocefalia. Além disso, com a calvária, nós temos os parâmetros craniométricos por meio da sutura coronal e sagital, para realizar a trepanação no ponto de Kocher (ponto da interseção da linha hemipupilar, aproximadamente, 2,5 cm lateralmente da linha média, com a linha que passa 1 centímetro à frente da sutura coronal), simulando uma situação real da neuroendoscopia.

A preservação da integridade do infundíbulo e da hipófise na retirada da peça é muito difícil. Apenas conseguimos preservar sete das 20 peças, reforçando a necessidade de aplicar quantidade maior de cola Araldite (formado por resinas epóxi e poliaminas), nessa topografia, após a retirada do encéfalo da base do crânio, para evitar a saída de água. O uso de cola Araldite é justificada pela boa adesão constatada ao tecido cerebral.

Utilizamos, como meio de confirmação de ventriculomegalia em nossos modelos experimentais cadavéricos humanos, a tomografia computadorizada do crânio, a partir de cortes de 3mm em plano axial. Esse procedimento foi realizado antes e depois de perfundir água à temperatura ambiente pela cavidade ventricular, demonstrando, a partir dos coeficientes do corno frontal e diâmetro interno, índice de Evan e o tamanho do corno temporal, a ocorrência da ventriculomegalia. Quando se estuda a anatomia endoscópica intraventricular, observa-se a capacidade volumétrica dos ventrículos específicos. Partindo desse ponto, calculamos o volume específico que seria infundido pelos ventrículos, assim como a substância específica necessária para a dilatação desse sistema ventricular. O cateter utilizado obliterou o aqueduto cerebral, de maneira mecânica, e foi colocado antes da tomografia

pré-experimento, pois, caso houvesse mal posicionamento, ele seria reposicionado antes do início da injeção de água destilada.

Foram colocados os encéfalos com o tronco cerebral voltado para cima para facilitar o depósito da água nas cavidades do terceiro e ventrículos laterais, além de evitar o refluxo da água.

Com o volume de perfusão inicial de 150 mL e realização de duas etapas com injeção de 9% do volume inicial injetado, alcançamos o quadro de simulação de ventriculomegalia. Partimos do pressuposto da anatomia endoscópica intraventricular (os ventrículos laterais comportam um volume de 120mL) e, reforçados pelo resultado positivo em 95,8% dos cadáveres humanos utilizados por Alvarez-Peña *et al.*, optamos pela injeção do volume de 150mL³¹.

A água utilizada nos procedimentos tem como função a ação extensora do espaço do sistema ventricular, e essas ações são respaldadas pelas leis físico-químicas que regem as características anômalas das moléculas da água que determinam um comportamento distinto em relação aos demais líquidos, já que a água a 4º C assume a maior densidade, e, com as temperaturas menores que 4ºC e maiores ou iguais a 0º C (no estado sólido), ela assume densidades menores, e, portanto, volumes maiores³⁸. Isso se deve à formação das pontes de hidrogênio, que são atrações dipolo-dipolo que ocorrem quando o hidrogênio está ligado a um elemento eletronegativo muito pequeno, como o flúor, oxigênio ou nitrogênio, resultando em moléculas muito polares nas quais o átomo de hidrogênio, extremamente pequeno, carrega uma carga positiva substancial, atraindo o dipolo negativo das outras moléculas.

Assim, a água no estado líquido apresenta-se como um complexo semicristalino de moléculas, sendo o número de pontes de hidrogênio função inversa da temperatura. No estado sólido, as moléculas estabelecem entre si o número máximo de pontes (quatro) e dispõem-se segundo uma malha hexagonal. Esta obriga a um maior distanciamento entre as moléculas do que aquele que se verifica no estado líquido⁷¹. Em consequência, a água aumenta de volume quando gela. Essas relações podem ser provadas pelas equações abaixo:

A densidade(D) da água sólida a 0°C é 0,917 g/cm³; a 4°C, no estado líquido, é D=1,000 g/cm³.³⁸ Então, podemos verificar que, se aplicarmos a fórmula da densidade ($D=m/V$) com m (massa) constante, Vi como volume inicial e D=1,000g/cm³. E relacionarmos o Vi com o volume final (Vf) de um estado em que a água esteja a 0°C, portanto D= 0,917 g/cm³ e mesma massa, teremos que: $1,000=m/V_i$ (água a 4°C) e $0,917=m/V_f$ (água a 0°C estado sólido), logo, $V_i=m/1,000$ e $V_f=m/0,917$ e a relação entre $V_f/V_i=1,09$, ou seja, há um aumento de 9% do volume inicial para uma mesma massa de água submetida a uma mudança de estado físico. Portanto, o volume injetado deve ser de 9% a mais em relação ao último procedimento realizado, já que essa é a porcentagem de aumento de volume esperada para cada congelamento realizado.

Foram realizadas três injeções de água destilada, inicialmente com 150 ml, e as duas sucessivas com 9% do valor anterior injetado, respectivamente, 13,5 mL(9% DE 150 mL) 14,7 mL (9% de 150 mL mais 13,5 mL), para que houvesse um aumento final de, aproximadamente, 29,4% do volume inicial do sistema ventricular, percentual este calculado com a relação entre o volume final (194,24mL) encontrado e o volume inicial (150mL). O volume de 16 mL (9% de 150mL+13,5mL+14,7mL) injetados de água destilada no final do experimento foi realizado apenas para confirmar a última dilatação de 9% do volume anterior injetado.

$$V_i=150 \text{ mL} \rightarrow \Delta V_i(9\%)=13,5\text{mL}$$

$$V_1=V_i+\Delta V_i=163,5 \text{ mL} \rightarrow \Delta V_1(9\%)=14,7\text{mL}$$

$$V_2=V_1+\Delta V_1=163,5+14,7=178,2 \text{ mL} \rightarrow \Delta V_2(9\%)=16,04\text{mL}$$

$$V_f (\text{Volume final})=V_2+\Delta V_2=178,2 +16,04=194,24\text{mL}$$

$$V_t=V_f-V_i \rightarrow V_t=194,2-150=44,24 \text{ mL}$$

$$\% \Delta V=44,24 / 150 =29,40\% (\text{Percentual do aumento de volume})$$

O índice de perda de peças foi muito grande quando injetamos quatro vezes, devido à ruptura das paredes ventriculares e transudação endimária, motivo pelo qual fizemos três injeções. Outro fator relevante é a dilatação do

líquido intracelular das células nervosas, já que essas células possuem, aproximadamente, 70% de água na composição do citosol. Essa dilatação paralela pode diminuir o rendimento do procedimento, o que acontecia quando realizávamos mais de três injeções.

Observamos que o descongelamento do cérebro de 0°C para temperatura ambiente levava, em média, 5 horas para acontecer, por isso estabelecemos esse intervalo de tempo para efetivarmos as etapas subsequentes.

Achamos que o uso concomitante do sensor de temperatura externo digital e o termômetro químico de mercúrio nos dão uma acurácia maior da temperatura, evitando erros de medição, pois, juntos, tornam mais fácil a manutenção do freezer a uma temperatura entre 0 e 4 graus Celsius. Esse cuidado se faz necessário com o intuito de não alterar os resultados dos experimentos, já que as propriedades físicas da água se alteram com mudanças mínimas de temperatura.

Poderíamos utilizar alguns líquidos como o Mercúrio, que aumenta seu volume em consequência de pequenas variações de temperatura. Porém, quando se adota a confecção de um modelo experimental em Medicina, deve-se fazê-lo de maneira clara e que tenha maior reprodutibilidade. A água é uma substância que está sempre a nossa disposição, de fácil manuseio e desprovida de toxicidade. A utilização de mercúrio pode, ainda, repercutir de maneira negativa sobre o estado de saúde do pesquisador, pois se trata de um metal pesado, podendo levar às doenças: hidrargirismo e síndrome psico-orgânica.

Com essa técnica realizada, houve aumento dos três parâmetros radiológicos estudados: índice de Evan, CF/DI e dilatação do corno temporal, exceto nas peças 1 e 6. A peça 1 teve aumento no CF/DI e no índice de Evan, porém o corno temporal não dilatou, já a peça 6 teve aumento do corno temporal, não havendo aumento dos coeficientes CF/DI e índice de Evan (Tabela 2).

É importante destacar que o corno temporal é uma cavidade virtual, justificando, assim, a sua medida de 0 cm no pré-experimento na maioria das peças.

Embora todos os parâmetros diagnósticos de hidrocefalia tenham apresentado aumento estatisticamente significativo no nosso experimento, apenas a dilatação do corno temporal se enquadra no diagnóstico tomográfico ditado pela literatura mundial de hidrocefalia, ou seja, dilatação maior que 2 mm⁴⁰. Não foram atingidos os valores dos demais coeficientes tomográficos de hidrocefalia preconizados pela literatura, ou seja, índice de Evan maior que 30% e CF/DI maior que 50%⁴⁰.

Um problema encontrado foi a transudação do volume injetado para o tecido periventricular, diminuindo a eficácia do experimento, ocorrendo, na nossa sexta peça (C6), transudação transependimária (Figura 23).

Figura 23 - Evidenciando a transudação transependimária, diminuindo a eficácia da dilatação ventricular.

Dessa forma, o CF/DI pré-experimento (18%) e o índice de Evan pré-experimento (17%) foram maiores que os índices após a injeção de água, 13% e 12%, respectivamente. Isso se deveu à pressão do tecido periventricular sobre os ventrículos, diminuindo esses índices. Como não houve transudação periventricular em nível do corno temporal, houve aumento desse parâmetro para 2,4 cm.

A presença de ar entre a dura-máter e a tábua óssea nas peças cadavéricas não altera o coeficiente de CF/DI, nem o índice de Evan, visto que o diâmetro bifrontal e o biparietal mantêm-se os mesmos na peça anatômica.

7 CONCLUSÕES

7 CONCLUSÕES

Tendo como base as experiências descritas, conclui-se que:

1. O modelo anatômico de ventriculomegalia foi desenvolvido de forma satisfatória por meio do uso das propriedades físico-químicas da água, que exerce efeito dilatador anômalo em determinadas variações de temperatura (0 – 4 Graus). A água como provedora do nosso estudo é importante, pois é de fácil acessibilidade, e ainda possui características físicas que podem ser conseguidas e comprovadas com auxílio de instrumentos (freezer, termostato, termômetro químico). O parâmetro da dilatação do corno temporal foi o principal método de diagnóstico radiológico para comprovar a criação de um modelo experimental de ventriculomegalia.
2. Após a indução da ventriculomegalia, foi possível visualizar, por meio de imagens fotografadas por via endoscópica, a anatomia ventricular, identificando, principalmente, estruturas nobres: forame de Monro, ângulo venoso (confluência das veias septal e tálamo-estriada), plexo corioideo, corpos mamilares, infundíbulo, quiasma óptico, túber cinéreo (Apêndice A).

8 ANEXOS

8.1 ANEXO A – Aprovação do Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo

APROVAÇÃO

O Comitê de Ética em Pesquisa da Faculdade de Medicina da Universidade de São Paulo, em sessão de 14.04.10, APROVOU o Protocolo de Pesquisa nº 046/10 intitulado: "MODELO ANATÔMICO DE HIDROCEFALIA PARA TREINAMENTO NEUROENDOSCÓPICO" apresentado pelo Departamento de Neurologia.

Cabe ao pesquisador elaborar e apresentar ao CEP-FMUSP, os relatórios parciais e final sobre a pesquisa.

Pesquisador (a) Responsável: Prof. Dr. Hamilton Matushita

Pesquisador (a) Executante: Christian Diniz

CEP-FMUSP, 15 de abril de 2010.

Prof. Dr. Eduardo Massad
Coordenador
Comitê de Ética em Pesquisa

8.2 ANEXO B – Aprovação do Departamento de Morfologia da Universidade Federal da Paraíba

UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE DEPARTAMENTO DE MORFOLOGIA

DECLARAÇÃO

Declaro para os devidos fins, que o Professor Christian Diniz Ferreira, lotado no Centro de Ciências Médicas, Departamento de Medicina Interna, Disciplina Neurologia, vem realizando trabalhos em peças anatômicas encefálicas com o consentimento do Departamento de Morfologia, desta Universidade, desde 2010, com o projeto intitulado Modelo anatômico de ventriculomegalia para treinamento neuroendoscópico, com finalidade da realização de sua pós graduação na Universidade de São Paulo

João Pessoa, 20 de Agosto de 2014

Prof. Ms. Ronald de Lucena Farias

Dr. Ronald de Lucena Farias
Neurocirurgia - CPM 4263
Cirurgia da Coluna Vertebral

9 REFERÊNCIAS

9 REFERÊNCIAS

1. Dandy WE. The diagnosis and treatment of hydrocephalus resulting from strictures of the aqueduct of Sylvius. *Surg Gynecol Obstet.* 1920;31:340-58.
2. Scarff JE. Endoscopic treatment of hydrocephalus. Description of a ventriculoscope and preliminary report of cases. *Arch NeurPsych.* 1936;35(4):853-61.
3. McNickle H. The surgical treatment of hydrocephalus; a simple method of performing third ventriculostomy. *Br J Surg.* 1947;34(135):302-7.
4. Leksell L. A surgical procedure for atresia of the aqueduct of Sylvius. *Acta Psychiatr Neurol.* 1949;24(3-4):559-68.
5. Greenwood J Jr, Hickey WC. Cerebral aqueduct stenosis; treatment by aqueduct-cisternal shunt. *Dis Nerv Syst.* 1956;17(9):277-9.
6. Morello G, Migliavacca F. Third ventriculostomy (Stookey and Scarff operation) in the treatment of benign aqueductal stenosis. *Acta Neurochir.* 1959;7(5):417-24.
7. Elvidge AR. Treatment of obstructive lesions of the aqueduct of Sylvius and the fourth ventricle by interventriculostomy. *J Neurosurg.* 1966;24(1):11-23.
8. Turnbull IM, Drake CG. Membranous occlusion of the aqueduct of Sylvius. *J Neurosurg.* 1966;24:24-33.
9. Jones RF, Stening WA, Brydon M. Endoscopic third ventriculostomy. *Neurosurgery.* 1990;26(1):86-92.
10. Jones RF, Kwok BC, Stening WA, Vonau M. Neuroendoscopic third ventriculostomy. A practical alternative to extracranial shunts in non-communicating hydrocephalus. *Acta Neurochir Suppl.* 1994;61:79-83.
11. Buxton N, Ho KJ, Macarthur D, Vloeberghs M, Punt J, Robertson I. Neuroendoscopic third ventriculostomy for hydrocephalus in adults: report of a single unit's experience with 63 cases. *Surg Neurol.* 2001;55(2):74-8.

12. Sgaramella E, Sotgiu S, Crotti FM. Overdrainage after endoscopic third ventriculostomy: an unusual case of chronic subdural hematoma - case report and review of the literature. *Minim Invasive Neurosurg.* 2003;46(6):354-6.
13. Gorayeb RP, Cavalheiro S, Zymberg ST. Endoscopic third ventriculostomy in children younger than 1 year of age. *J Neurosurg.* 2004;100(5):427-9.
14. Scarff JE. Evaluation of treatment of hydrocephalus: results of third ventriculostomy and endoscopic cauterization of choroid plexuses compared with mechanical shunts. *Arch Neurol.* 1966;14(4):382-91.
15. Kunz U, Goldmann A, Bader C, Waldbaur H, Oldenkott P. Endoscopic fenestration of the 3rd ventricular floor in aqueductal stenosis. *Minim Invasive Neurosurg.* 1994;37(2):42-7.
16. Perneczky A, Fries G. Endoscope-assisted brain surgery: part 1 - evolution, basic concept, and current technique. *Neurosurgery.* 1998;42(2):219-25.
17. Matula C, Tschabitscher M, Day JD, Reinprecht A, Koos WT. Endoscopically assisted microneurosurgery. *Acta Neurochir.* 1995;134(3-4):190-5.
18. Gaab MR, Schroeder HWS. Neuroendoscopic approach to intraventricular lesions. *J Neurosurg.* 1998;88(3):496-505.
19. Patil AA, McComb RD, Gelber B, McConnell J, Sasse S. Intraventricular neurocytoma: a report of two cases. *Neurosurgery.* 1990;26(1):140-4.
20. Hall WA, Lunsford LD. Changing concepts in the treatment of colloid cysts. An 11-year experience in the CT era. *J Neurosurg.* 1987;66(2):186-91.
21. Walker ML, Carey L, Brockmeyer DL. The neuro navigational 1.2-mm neuroview neuroendoscope. *Neurosurgery.* 1995;36(3):617-8.
22. Kobayashi N, Kamikawa S, Miyake S, Yamamoto K, Kojima N, Tamaki N. Treatment of hydrocephalus without shunt placement: third ventriculostomy. *No Shinkei Geka.* 1997;25(1):35-40.
23. Grotenhuis J. *Shunt placement. Manual of endoscopic procedures in neurosurgery.* Nijmegen, The Netherlands: Uitgeverig Machaon; 1995. p. 64-9.

24. Jung H, Kim M, Shin K. stereotactic endoscopic exercises of cerebral cysticercosis. *The American Association of Neurological Surgeons 1996 Annual Meeting*, 1996.
25. Decq P, Brugieres P, LeGuerinel C, Djindjian M, Keravel Y, Nguyen JP. Percutaneous endoscopic treatment of suprasellar arachnoid cysts: ventriculocystostomy or ventriculocystocisternostomy? Technical note. *J Neurosurg*. 1996;84(4):696-701.
26. Hellwig D, Kuhn TJ, Bauer BL, List Hellwig E. Endoscopic treatment of septated chronic subdural hematoma. *Surg Neurol*. 1996;45(3):272-7.
27. Mathiesen T, Grane P, Lindgren L, Lindqvist C. Third ventricle colloid cysts: A consecutive 12- year series. *J Neurosurg*. 1997;86(1):5-12.
28. Handler MH, Abbott R, Lee M. A near-fatal complication of endoscopic third ventriculostomy: case report. *Neurosurgery*. 1994;35(3):525-7.
29. McLaughlin MR, Wahlig JB, Kaufmann AM, Albright AL. Traumatic basilar aneurysm after endoscopic third ventriculostomy: case report. *Neurosurgery*. 1997;41(6):1400-3.
30. Schroeder HWS, Gaab MR. Endoscopic aqueductoplasty: technique and results. *Neurosurgery*. 1999;45(3):508-15.
31. Alvarez-Peña C, Rocca U, Rosell P, Ramos A. Neuroendoscopia cerebral: experiencia previa en modelos experimentales y aplicacion clinica. *Anales Facult Med*. 2000;61(2):89-98.
32. Haji FA, Dubrowski A, Drake J, Ribaupierre S. Needs assessment for simulation training in neuroendoscopy: a Canadian national survey. *J Neurosurg*. 2013;118(2):250-7.
33. Thomas WEG. The making of a surgeon. *Surgery*. 2008;26:400-2.
34. Coelho G, Zymberg S, Lyra M, Zanon N, Warf B. New anatomical simulator for pediatric neuroendoscopic practice. *Childs Nervous System*. 2014.
35. Zymberg ST, Cavalheiro S. Neuroendoscopia. *Rev Neurociências*. 1996;4(1):12-4.
36. Santorcuato F. Human-artificial simulator for training and technical study of intraventricular neuroendoscopic. *Rev Chil Neurocir*. 2008;30:32-5.

37. Cobo EJ, Borges FRP, Riverón RP. Simulating model for training in neuroendoscopy and neuroanatomy. *Rev Cub Cirugía*. 2005;44(1):0.
38. Quagliano JV, Vallariano LM. *Química*. Rio de Janeiro: Guanabara Dois S.A; 1979.
39. Mixer W. Ventriculoscopy and puncture of the floor of the third ventricle. *Boston Med Surg J*. 1923;188:277-8.
40. Greenberg M. *Handbook of neurosurgery*. 6th ed. ed. New York: Thieme; 2006.
41. O'Hayon BB, Drake JM, Ossip MG, Tuli S, Clarke M. Frontal and occipital horn ratio: A linear estimate of ventricular size for multiple imaging modalities in pediatric hydrocephalus. *Pediatr Neurosurg*. 1998;29(5):245-9.
42. Nitze M. Veränderungen an meinen elektroendoskopischen instrumenten zur untersuchung der männlichen harnblase. *Monat Arztl Polytech*. 1887;3:59-62.
43. Dandy WE. Cerebral ventriculoscopy. *Bull Johns Hopkins Hosp*. 1922;33:188-90.
44. Fay T, Grant FC. Ventriculoscopy and intraventricular photography in internal hydrocephalus. Report of case. *JAMA*. 1923;80(7):461-3.
45. Putnam TJ. Treatment of hydrocephalus by endoscopic coagulation of the choroid plexus. *N Engl J Med*. 1934;210:1373-6.
46. Nulsen FE, Spitz EB. Treatment of hydrocephalus by direct shunt from ventricle to jugular vein. *Surg Forum*. 1951;2:399-403.
47. Vries JK. Endoscopy as an adjunct to shunting for hydrocephalus. *Surg Neurol*. 1980;13:69-72.
48. Guiot G, Rougerie J, Fourestier M, Fournier A, Comoy C, Vulmiere J, *et al*. Une nouvelle technique endoscopique. Explorations endoscopiques intracrâniennes. *Presse Med*. 1963;71:1225-8.
49. Ogata M, Ishikawa T, Horide R, Watanabe M, Matsumura H. Encephaloscope: basic study. *J Neurosurg*. 1965;22:288-91.
50. Forjaz S, Martelli N, Latuf N. Hypothalamic ventriculostomy with catheter. Technical note. *J Neurosurg*. 1968;29(6):655-9.

51. Fukushima T, Ishijima B, Hirakawa K, Nakamura N, Sano K. Ventriculofiberscope: a new technique for endoscopic diagnosis and operation: technical note. *J Neurosurg.* 1973;38(2):251-6.
52. Sayers MP, Kosnik EJ. Percutaneous third ventriculostomy: experience and technique. *Childs Brain.* 1976;2(1):24-30.
53. Castro SC, Roquette AGD, Assis MC, Carísio CRA, Dias PCM, Bertucci A. Terceiroventriculostomia endoscópica. *Arq Bras Neurocir.* 1991;10(3):155-8.
54. Bauer BL, Hellwig D. Minimally invasive endoscopic neurosurgery - a survey. *Acta Neurochir Suppl.* 1994;61:1-12.
55. Romero ADCB, Pinto FCG, Aguiar PHP. Basis of ventricular endoscopic anatomy for third ventriculostomy. *J Bras Neurocir.* 2008;19(1):47-52.
56. Romero AD, Zicarelli CA, Pinto FC, Pasqualucci CA, Aguiar PH. Simulation of endoscopic third ventriculostomy in fresh cadaveric specimens. *Minim Invasive Neurosurg.* 2009;52(3):103-6.
57. Duffner F, Schiffbauer H, Glemser D, Skalej M, Freudenstein D. Anatomy of the cerebral ventricular system for endoscopic neurosurgery: a magnetic resonance study. *Acta Neurochir.* 2003;145(5):359-68.
58. Aydin S, Yilmazlar S, Aker S, Korfali E. Anatomy of the floor of the third ventricle in relation to endoscopic ventriculostomy. *Clin Anat.* 2009;22(8):916-24.
59. Decq P. Anatomie endoscopique ventriculaire. *End Ventr Anat.* 2005;89(284):12-21.
60. Rhoton AL. The lateral and third ventricles. *Neurosurgery.* 2002;51(4):S207-S72.
61. Fujii K, Tanaka R, Oka H, Nagata S, Rhoton AL. Microsurgical anatomy and operative approaches to the lateral ventricles. *International Congress Series.* 2002;1247:19-27.
62. Nagata S, Rhoton Jr AL, Barry M. Microsurgical anatomy of the choroidal fissure. *Surg Neurol.* 1988;30(1):3-59.
63. Cossu M, Lubinu F, Orunesu G, Pau A, Viale ES, Sini MG, et al. Subchoroidal approach to the third ventricle microsurgical anatomy. *Surg Neurol.* 1984;21(4):325-31.

64. Tamraz J, Comair Y. *Atlas of regional anatomy of the brain using MRI with functional correlations*. New York: Springer; 2006.
65. Cavalheiro S, Rogano LA, Peterline FL, Braga FM. Migração do cateter peritoneal para o escroto. *J Bras Neurocir*. 1990;2(2):69-70.
66. Dandy WE. An operative procedure for hydrocephalus. *Bull Johns Hopkins Hosp*. 1922;33:189-90.
67. Coelho G, Kondageski C, Vaz-Guimaraes Filho F, Ramina R, Hunhevicz SC, Daga F, *et al*. Frameless image-guided neuroendoscopy training in real simulators. *Minim Invasive Neurosurg*. 2011;54(3):115-8.
68. Zymberg S, Vaz-Guimaraes Filho F, Lyra M. Neuroendoscopic training: presentation of a new real simulator. *Minim Invasive Neurosurg*. 2010;53(1):44-6.
69. Guimaraes FV, Coelho G, Cavalheiro S, Lyra M, Zymberg ST. Quality assessment of a new surgical simulator for neuroendoscopic training. *Neurosurg Focus*. 2011;30(4):E17.
70. Nogueira JF, Stamm AC, Lyra M, Balieiro FO, Leao FS. Building a real endoscopic sinus and skull- base surgery simulator. *Otolaryngol Head Neck Surg*. 2008;139(5):727-8.
71. Van Wylen GJ, Sonntag RE, Borgnakke C. *Fundamentos da termodinâmica clássica*. 4 ed. São Paulo: Edgard Blücher; 2003. 589 p.
72. Greitz D. Radiological assessment of hydrocephalus: new theories and implications for therapy. *Neurosurg Rev*. 2004;27(3):145-65.
73. Greitz D. Paradigm shift in hydrocephalus research in legacy of Dandy's pioneering work: rationale for third ventriculostomy in communicating hydrocephalus. *Childs Nerv Syst*. 2007;23(5):487-9.
74. Rekte HL. A consensus on the classification of hydrocephalus: its utility in the assessment of abnormalities of cerebrospinal fluid dynamics. *Childs Nerv Syst*. 2011;27(10):1535-41.
75. Di Rocco C, Di Trapani G, Maira G, Bentivoglio M, Macchi G, Rossi GF. Anatomico-clinical correlations in normotensive hydrocephalus. Reports on three cases. *J Neurol Sci*. 1977;33(3):437-52.

76. Pinto FCG, Saad F, de Oliveira MF, Pereira RM, de Miranda FL, Tornai JB, *et al.* Role of endoscopic third ventriculostomy and ventriculoperitoneal shunt in idiopathic normal pressure hydrocephalus: preliminary results of a randomized clinical trial. *Neurosurgery*. 2013;72(5):845-53.
77. Sisson S, Grossman J, Getty R. *Sistema nervioso del buey. Anatomía de los animales domésticos*: Salvat Edit; 1969. p. 833-7.

10 APÊNDICES

APÊNDICE A – Fotos no Acesso Endoscópico aos Ventriculos Laterais e terceiro Ventrículo

Figura 24 - Neuroendoscopia realizada em modelos experimentais, observam-se: **(A)** Pc (Plexo corioideo), Sp (Septo pelúcido). **(B)** Cp (Comissura posterior) e Aq (Aquaduto cerebral). **(C)** Fi (Forame interventricular), Cf (Coluna do fórnice) e Ca (Comissura anterior). **(D)** Rt (Recesso triangular), Ca (Comissura anterior), Lt (Lâmina terminal) e Tat (Tubérculo anterior do tálamo).

Figura 25 - Neuroendoscopia realizada em modelos experimentais, observam-se: **(A)** Cm (Corpus mamilares) e Tc (Tuber cinéreo). **(B)** Qo (Quisma óptico), Lt (Lâmina terminal), Tc (Túber cinéreo) e Cm (Corpus mamilares). **(C)** Lt (Lâmina terminal), Cf (Coluna do fórnice), Ca (Comissura anterior) e Ta (Tálamo). **(D)** Cm (Corpus mamilares), Tc (Tuber cinéreo) e Ri (Recesso infundibular).

Figura 26 - Neuroendoscopia realizada em modelos experimentais observam-se: **(A)** Ca (Comissura anterior), Fi (Forame interventricular) e Cf (Coluna do fórnice). **(B)** Cm (Corpus mamilares) e Tc (Tuber cinéreo). **(C)** Fi (Forame interventricular) e Cf (Coluna do fórnice).

APÊNDICE B – Laboratório com a Utilização dos Modelos Anatômicos de Ventriculomegalia (Curso Latino Americano de Neuroendoscopia- Dezembro 2011)

Figura 27 - Curso Latino Americano de Neuroendoscopia

Figura 28 - Laboratório - aplicabilidade dos modelos anatômicos de ventriculomegalia

Figura 29 - Uso da neuronavegação magnética acoplada a neuroendoscopia no modelo anatômico de ventriculomegalia

APÊNDICE C- Laboratório com a Utilização dos Modelos Anatômicos de Ventriculomegalia (X Congresso Brasileiro de Neurocirurgia Pediátrica – Maio de 2013)

Figura 30 - X Congresso Brasileiro de Neurocirurgia Pediátrica

Figura 31 - Laboratório experimental

Figura 32 - Uso da neuronavegação magnética acoplada a neuroendoscopia no modelo anatômico de ventriculomegalia

Proposal of a new method to induce ventricular system dilation to simulate the features of hydrocephalus and provide an anatomical model for neuroendoscopy training

Christian Diniz Ferreira · Hamilton Matushita · Bruno Roberto Duarte Silva ·
Arlindo Ugulino Netto · Luiz Gustavo Correia · Maurus Marques de Almeida Holanda ·
Rayan Haquim Pinheiro Santos

Received: 4 December 2013 / Accepted: 12 December 2013 / Published online: 4 January 2014
© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2014

Abstract

Objective Create an anatomical model which simulates the real condition of a hydrocephalus and which can be used as a tool in the training of neurosurgeons in neuroendoscopy techniques and anatomical structure study.

Methods Case-control type study, with an experimental group consisting of ten brains, in which the injection of distilled water was performed; and the control group consisting of three brains with saline solution. Inclusion criteria were brains with no history of contagious diseases or traumatic injury.

Results *t* student test showed that the relation between frontal horn and internal frontal diameter (FH/ID), with an average of 13 % before the experiment, had a significant difference ($t=-3.47$, $df=9$, $p<0.01$) from the relation after the subsequent experiment with an average of 20 %. The Evan's index also showed a significant difference ($t=-3.57$, $df=9$, $p<0.01$) with an initial and final average of 12 % and 19 %, respectively. Friedman test showed significant difference of the size of the temporal horn before and after the experiment ($F=8.1$, $df=1$, $p<0.01$), indicating that there was significant increase of the temporal horn.

Conclusion The adequate use of the anomalous chemical-physical characteristics of the water molecule may provide a

good mechanism to expand the ventricular cavity, in order to create an experimental model of hydrocephalus. The endoscope may be introduced by the usual ways, allowing anatomical observation and simulation of the same tactile sensitivity that one would find during the actual procedure.

Keywords Hydrocephalus · Neuroendoscopy · Ventricles
Experimental models

Introduction

The advent of contemporary neuroendoscopy was based on the technological advancement of lenses and light intensity of endoscopes, promoting a revolution in the treatment of neurosurgical pathologies, with a massive increase of the indications of endoscopic neurosurgical procedures [1, 2]. Some neurosurgical pathologies such as cerebral aqueduct stenosis, ventricular obstruction by tumors, some types of Dandy-Walker malformation, posterior fossa cysts, and multiple septum hydrocephalus already have well established treatments by endoscopic neurosurgery [3–7]. Therefore, to be successful with this method, it is mandatory for the neurosurgeon to acquire full knowledge of ventricular anatomy in the two-dimensional technique demonstrated by endoscopy. This training supports the use of experimental models for several reasons, such as risk reduction for patients during the difficult learning curve of this technique by experts, which necessarily uses paths through the brain to approach lesions, which are their surgical goals; and the fact that working with models does not depend on the availability of patients and surgical shifts, and there is no limit of participants, accelerating the process of teaching and learning. The lack of similar models in the literature and the need to avoid having the patient as the only source of training for this procedure have

C. D. Ferreira (✉) · M. M. de Almeida Holanda · R. H. P. Santos
Universidade Federal da Paraíba (UFPB), João Pessoa, PB, Brazil
e-mail: christiandiniz@hotmail.com

H. Matushita
Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, SP, Brazil

B. R. D. Silva
Faculdade de Ciências Médicas da Paraíba (FCM-PB), João Pessoa, PB, Brazil

A. U. Netto · L. G. Correia
Faculdade de Medicina Nova Esperança (FAMENE), João Pessoa, PB, Brazil

motivated us to develop this work as an attempt to provide a reliable anatomical model to enable training and technical improvement of the neurosurgeon in endoscopic approaches and changes in ventricular anatomy found in pathologies that are associated with hydrocephalus [1, 8].

Methods

This is a case-control type study, developed with 13 brains, and was approved by the ethics committee (protocol number 046/10) of the University of São Paulo. The selection criteria were brains that had no traumatic injuries or history of contagious diseases. Age and sex were not criteria of exclusion. The study is based on the comparison of two groups: the experimental group, that was composed of ten brains, identified by the letter C and a number from 1 to 10 (e.g., C1, C2, C3), which were prepared in accordance to the methods suggested by us, with injection of distilled water; and the control group, consisting of three brains, in which the experiments were conducted in accordance to the second phase of the experimental model of Alvarez-Pena et al. [9], which is the injection of saline solution. The original experiment of Alvarez-Peña was divided into two phases: Phase 1, developed in bovine ventricles, and the second phase, performed in two human cadavers (our study was compared with this second phase of Alvarez-Peña's research).

In the experimental group, in order to create a model that resembled anatomical changes present in hydrocephalus, the following steps were performed: The skull was cut, following a line drawn from the glabella to the external occipital protuberance, passing by the temporal squama, using a saw, leaving the basal portion of the frontal lobe, part of the lateral portion of the temporal lobe, the basal portion of the temporal lobe, the floor of the third ventricle (diencephalon), the cerebellum, and the brainstem uncovered by bone. It is important to emphasize the caution of the authors at the time of the brain removal and also to keep the infundibulum and pituitary gland intact. Catheterization of the fourth ventricle through the median aperture of the fourth ventricle (foramen of Magendie) reaching the cerebral aqueduct (of Sylvius) was performed, with a disposable number 10 silicone urethral catheters (sterilized by gamma irradiation cobalt 60), from Mark Med™ (Fig. 1). An epoxy glue of 5 ml (Araldite™) was injected to obstruct the region of the medulla oblongata that communicates with the fourth ventricle, the median and lateral apertures of the fourth ventricle (foramina of Luschka and Magendie), and a fortifying portion was injected in the choroidal fissure at the pituitary region, intending to avoid leakage of water injected later. CT (TOSHIBA Asteion™ model) was performed with 3 mm cuts in the axial plane before the injection of distilled water through the catheter, for the calculation of the temporal horn, FH/ID and Evan's index (Fig. 2). Then, 150 ml of distilled water at room temperature was injected in

Fig. 1 Catheterization of the fourth ventricle through the median aperture of the fourth ventricle

the catheter, with a 20 ml syringe, and the brains were placed in the refrigerator at 4 °C for 12 h, to let the water fill the entire space of the ventricular system (third ventricle and the lateral ventricles). After that, the brains were taken to the freezer to be cooled to a temperature of 0 °C (solid) with the brainstem facing up. We used the freezer with a thermostat (temperature sensor) and external chemical mercury thermometer. The brains were taken out of the freezing process, 24 h after being brought to the freezer, to return to room temperature in an expected time of 5 h. At this point, the process of injecting distilled water and freezing was repeated three times. Each injection was added over 9 % of the volume previously injected, i.e., the second volume was 13.5 ml and third was 14.7 ml. A second CT scan was performed for recalculation of the temporal horn, FH/ID, and Evan's index. Later, a burr hole was made with a neurosurgical MACOM™ drill, at Kocher's point (2 cm to the right of the midline and 1 cm ahead of the coronal suture), enlarged with a scalpel blade 11, and a neuroendoscope GAAB-STORZ™ was introduced to perform the neuroendoscopy, making photos and videos of major structures such as ventricular choroid plexus, interventricular foramen, septal anterior vein, thalamostriatal vein, venous angles, mammillary bodies, tuber cinereum, infundibulum, optic chiasm, ventricular carrefour, and septum pellucidum.

In the control group, we selected three brains, using the same criteria for inclusion and exclusion of the ones in the case group. Cranial tomography (CT scanner brand TOSHIBA Asteion™) was performed with these three brains, with 3 mm cuts in the axial plane, before injection of saline solution for the calculation of the temporal horn, FH/ID, and Evan's index. Then, the brains were inclined in 30° from the horizontal plane. Trepanning was performed 2 cm ahead of the coronal suture and, laterally, 2.5 cm from the midline. Then, we used a scalpel with a blade number 15 to open the dura mater, aiming to visualize cerebral

Fig. 2 Figure showing the methods of quantitative analysis of ventricular dilatation. *CF* stands for frontal horn coefficient. *DI* stands for internal diameter. *CT* stands for temporal horn. *DBPmax* stands for maximum biparietal diameter. Evan's index is $CF/DBPmax$.

surface. Subsequently we introduced about 4 cm of the Cushing's needle, and in this position it was possible to visualize the ventricular ependyma. A saline solution of 150 ml was infused, according to step 2 of Alvarez-Pena et al. [9] experiment. A new CT scan was performed for recalculation of the temporal horn, FH/ID, and Evan's index, and the results were compared to values acquired prior to the injection. The tools used for visualization and endoscopic instrumentation were: a 2 mm diameter endoscope; lens with 0° angle, with an oval cross-section of $6\text{ mm} \times 4\text{ mm}$; and a working channel for introducing the irrigation system. The optical system was connected to a video camera, with a xenon light source, both from STORZTM, a monitor from SonyTM and a 4-head VHS from SamsungTM. The statistical analysis was performed in the BioStatTM version 5.0. To analyze the variation coefficient between the frontal horn/internal diameter and Evan's index before and after the experiment, we used the *t* Student test for paired samples. Upon completion of the study, the specimens were

returned to the laboratory of Anatomy of the University and began to be used in the classes of Neuroanatomy.

Results

The comparison between the FH/ID coefficient, Evan's index, and the temporal horn diameter in the brains before and after distilled water injection are shown in Table 1.

The *t* Student test (Table 2) result showed that the FH/ID (with an average of 13 % before the experiment) had a significant difference ($t=-3.47$, $df=9$, $p<0.01$) from the FH/ID obtained after the experiment with an average of 20 %. The Evan's index also showed a significant difference ($t=-3.57$, $df=9$, $p<0.01$) between the results acquired before (average of 12 %) and after experiment (average of 19 %). The size analysis of the temporal horn through the Friedman test showed a significant difference between the groups before and after the experiment ($F=8.1$, $df=1$, $p<0.01$), indicating

Table 1 Results obtained before and after the injection of distilled water

	Before injection of distilled water			After injection of distilled water		
	FH/ID coefficient (%)	Evan's index (%)	Temporal horn (cm)	FH/ID coefficient (%)	Evan's index (%)	Temporal horn (cm)
C1	12	11	0	20	18	0
C2	14	13	0	15	14.4	2.4
C3	11	12	0	15.2	15	2.1
C4	16	14.9	0	27	28	3.2
C5	18	15	0	25	26	3.1
C6	18	17	0	13	12	2.4
C7	7	8	0	18	19	2.3
C8	7	7.5	0	13	13	3.0
C9	10	11	0	21	18	2.6
C10	7.5	8	0	28	26	3.2

Table 2 Results by paired *t* test of FH/ID coefficient, Evan's index, and temporal horn

	<i>p</i>
FH/ID coefficient	0.0071
Evan's index	0.006
Temporal horn	<0.0001

that the average size of the temporal horn was higher after the experiment than before it.

We selected some tomographic images that demonstrate the best results acquired in this study, which are shown in Fig. 3. Neuroendoscopy was then performed in the brains to evaluate internal structures. The results were satisfactory, and the endoscopic images are listed in Figs. 4 and 5.

Discussion

The use of human anatomical models is probably the gold standard among experimental models for neuroendoscopy training [1, 10]. However, it is not easy to obtain the working bodies and, they still require adequate laboratory infrastructure for preservation. In previously published works about the development of experimental hydrocephalus, there is no reference of radiological methods or similar to confirm the occurrence of hydrocephalus. Also, the infusion of saline solution in the ventricular cavities is not justified by the physical or chemical laws in any of the published studies [9–11]. We used CT scan of the skulls to confirm the presence of hydrocephalus, with 3 mm cuts in the axial plane, performed before and after the infusion of water at room

Fig. 3 **a** CT of C1 brain before injection of distilled water through the catheter; **b** CT of C1 brain after injection of distilled water; **c** CT of C3 brain before injection of distilled water; **d** CT of C3 brain after injection of distilled water; **e** CT of C4 brain before injection of distilled water; **f** CT of C4 brain after injection of distilled water

Fig. 4 **a** Neuroendoscopy performed in experimental models, showing Pc (choroid plexus), Sp (septum pellucidum); **b** neuroendoscopy showing Cp (posterior commissure) and Aq (cerebral aqueduct); **c** neuroendoscopy showing Fi (interventricular foramen), Cf (fornix column), and Ca (anterior commissure); **d** neuroendoscopy showing Rt (triangular recess), Ca (anterior commissure), Lt (lamina terminalis), and Ta (anterior tubercle of thalamus)

temperature in the ventricular cavity, showing through the coefficients of the frontal horn and internal diameter, Evan's index, and size of the temporal horn, the occurrence of hydrocephalus. In the study of the endoscopic intraventricular anatomy, it is possible to determine the specific volumetric capacity of the ventricles. With this information, we could calculate

the specific volume to be infused in the ventricles, as well as the specific substance required for dilation of the ventricular system. The catheter mechanically obliterated the cerebral aqueduct, and it was placed before the CT scan performed before the experiment, because if it were not well positioned, it would be possible to reposition it before the injection of

Fig. 5 **a** Neuroendoscopy performed in experimental models, showing Qo (optic chiasm), Lt (lamina terminalis), Tc (tuber cinereum), and Cm (mammillary bodies); **b** neuroendoscopy showing Lt (lamina terminalis), Cf (fornix column), Ca (anterior commissure), and Ta (thalamus); **c** neuroendoscopy Cm (mammillary bodies), Tc (tuber cinereum), and Ri (infundibular recess); **d** neuroendoscopy showing Ca (anterior commissure), Fi (interventricular foramen), and Cf (fornix column)

distilled water. The brains were placed with the brainstem facing upwards, to facilitate the water to flow into the cavities of the third and lateral ventricles and to prevent the backflow of water. After the initial infusion of 150 ml of distilled water and the following three steps of injection of 9 % of the volume injected before, we could mimic hydrocephalus in the brains. Considering that the intraventricular endoscopic anatomy proves to be capable of containing 120 ml of liquid and reinforced by a positive result in 95.8 % of human cadavers used by Alvarez-Peña, we chose the injection of 150 ml [9]. The water used in the procedures had the function of enlarging the ventricular system space. This property is supported by the physical-chemical laws ruling the anomalous characteristics of the water molecule, which determine a different behavior from the other fluids, once water, at 4 °C, reaches its highest density, and at temperatures lower than 4 °C and greater or equal to 0 °C (in solid state), it reaches lower densities, and thus higher volumes. This is due to the formation of hydrogen bonds, which are dipole-dipole attractions that occur when hydrogen is attached to a very small electronegative element, like fluorine, oxygen, or nitrogen, resulting in very polar molecules in which the hydrogen atom, extremely small, carries a substantial positive charge, attracting the negative dipole of other molecules. Therefore, liquid water appears as a complex of semicrystalline molecules, where the number of hydrogen bonds is an inverse function of temperature. In the solid state, the molecules establish the maximum number of bonds among themselves, which are four, and become arranged as a hexagonal mesh. This requires a greater distance between molecules than when in liquid state [12]. As a result, water dilates when freezes. These relations can be proved by the following equations:

As the density (D) of solid water at 0 °C is 0.917 g/cm^3 and at 4 °C, in the liquid state, is $D=1.000 \text{ g/cm}^3$ (2), we can see that if we apply the formula for density ($D=m/V$) with a constant m (mass), iV as initial volume and $D=1.000 \text{ g/cm}^3$, and relate iV with the final volume (fV) of a state in which water is at 0 °C, so $D=0.917 \text{ g/cm}^3$ and we have the same mass, the result is:

$1,000=m/iV$ (water at 4 °C) and $0.917=m/fV$ (water at 0 °C solid state), then $iV=m/1.000$ and $fV=m/0.917$ and the ratio $fV/iV=1.09$, so, it is proven there is an increase of 9 % of the initial volume for a given amount of water submitted to a change of state [13]. Therefore, the injected volume should be 9 % greater when compared to the last procedure performed, since this is the percentage of volume increase expected for each freezing event. We performed three successive injections of distilled water, with the objective of obtaining a final increase of approximately 27 % of the initial volume of the ventricular system.

We observed that defrosting the brain from 0 °C to room temperature took an average of 5 h to happen, and that was the reason why we establish this interval as basis to develop the

subsequent steps. Using this technique, there was an increase of three radiological parameters studied: Evan's index, FH/ID, and dilation of the temporal horn in the brain numbers 2, 3, 4, 5, 7, 8, 9, and 10.

Skull number 7 (C7) showed an increase of 100 % of the Evan's index and coefficient FH/ID, and number 9 (C9) increased by 100 % in this last parameter. But, even with these values, they did not reach the tomographic parameters for diagnosing hydrocephalus as suggested by the literature, which are Evan's index greater than 30 % and FH/ID greater than 50 %.

Although all diagnostic parameters for hydrocephalus showed statistically significant increase in our experiment, only the dilation of the temporal horn met the tomographic diagnostic parameter suggested by the literature, which is dilation greater than 2 mm. There is an important aspect to be discussed, which is the expansion of the intracellular liquid in the nervous cells, since these cells have approximately 70 % of water in the composition of their cytosol. Thus, this parallel dilation may decrease the efficiency of our procedure.

The presence of air between the dura and the bone plate present in the anatomical pieces did not alter the FH/ID coefficient and Evan's index, because the bifrontal and biparietal diameters remained the same in the anatomical parts.

Conclusion

The use of neuroendoscopy in cadaveric models proves its importance, once there is easy access to them in many campuses, they have the greatest anatomical similarity possible with the patient's brain, and the method of preparation of these parts recommended by us can be easily reproduced, once the substance used for the ventricular cavities infusion is water. We understand that the use of anatomical human parts prepared according to the methods proposed by us should be the gold standard in the teaching of neuroendoscopy, supported by the fact that it requires little maintenance and infrastructure and is easily reproduced in different locations and environments, being very similar to real surgical environment. The fact that it is not necessary to administrate anesthesia, to use any other expensive supplies, laboratories with special equipment, and the possibility of reusing the parts without further obstacles, makes the training in human anatomical parts more advantageous when compared to the training in artificial or animal models. Furthermore, the experimental models developed by us are essential and indispensable before using neuroendoscopy to solve this complex neurosurgical pathology in vivo. Under the ethical prism, the importance of working in experimental models of human corpses as a first approach to new surgical techniques is unquestionable, because the patient cannot be the laboratory of experimental surgery.

Therefore, we conclude that we have obtained successful exploitation of the anomalous physicochemical characteristics of the molecule of water in providing a good expanding mechanism for the ventricular chambers, in order to create a hydrocephalus in an anatomical brain part, allowing anatomical observation and simulation of the surgical procedure with the same tactile sensitivity that one would find in the real environment. It is noteworthy that the use of water, as one of the pillars of our study, was important because it is widely accessible and also has physical characteristics that can be achieved and verified with the aid of instruments (freezer, thermostat, etc.) available in all study and research environments, and which require no greater costs to the institutions.

References

1. Perneczky A, Fries G (1998) Endoscope-assisted brain surgery: part 1—evolution, basic concept, and current technique. *Neurosurgery* 42:219–225
2. Matula C, Tschabitscher M, Day JD, Reinprecht A, Koos WT (1995) Endoscopically assisted microneurosurgery. *Acta Neurochir* 134: 190–195
3. Gaab MR, Schroeder HWS (1998) Neuroendoscopic approach to intraventricular lesions. *J Neurosurg* 88:496–505
4. Decq P, Brugieres P, LeGuerinel C, Djindjian M, Keravel Y, Nguyen JP (1996) Percutaneous endoscopic treatment of suprasellar arachnoid cysts: ventriculocystostomy or ventriculocystocisternostomy? Technical note. *J Neurosurg* 84:696–701
5. Kobayashi N, Kamikawa S, Miyake S, Yamamoto K, Kojima N, Tamaki N (1997) Treatment of hydrocephalus without shunt placement: third ventriculostomy. *No Shinkei Geka* 25:35–40
6. Hellwig D, Kuhn TJ, Bauer BL, List-Hellwig E (1996) Endoscopic treatment of septated chronic subdural hematoma. *Surg Neurol* 45: 272–277
7. Mathiesen T, Grane P, Lindgren L, Lindqvist C (1997) Third ventricle colloid cysts: a consecutive 12-year series. *J Neurosurg* 86:5–12
8. Perneczky A, Fries G (1995) Use of a new aneurysm clip with an inverted-spring mechanism to facilitate visual control during clip application. Technical note. *J Neurosurg* 82:898–899
9. Alvarez-Peña C, Rocca U, Rosell P, Ramos A (2000) Neuroendoscopia cerebral: experiencia previa en modelos experimentales y aplicación clínica. *An Fac Med* 61:89–98
10. Santorcuato F (2008) Human-artificial simulator for training and technical study of intraventricular neuroendoscopic. *Rev Chil Neurocir* 30:32–35
11. Cobo EJ, Borges FRP, Riverón RP (2005) Simulating model for training in neuroendoscopy and neuroanatomy. *Rev Cubana Cir* 44
12. Van Wylen GJ, Sonntag RE, Borgnakke C (2003) Fundamentos da Termodinâmica Clássica. Edgard Blücher, São Paulo
13. Quagliano JV, Vallariano LM (1979) Química. Guanabara Dois S.A., Rio de Janeiro