



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA**

Larissa Lopes Rodrigues

Diferenças morfológicas e biomecânicas causadas pelo ferimento por arma de fogo em osso parietal utilizando simulação computacional

Morphological and biomechanical differences caused by gunshot wounds on the parietal bone using a computational simulation

**Piracicaba
2017**

LARISSA LOPES RODRIGUES

Diferenças morfológicas e biomecânicas causadas pelo ferimento por arma de fogo em osso parietal utilizando simulação computacional

Morphological and biomechanical differences caused by gunshot wounds on the parietal bone using a computational simulation

Dissertação apresentada à Faculdade de Odontologia de Piracicaba da Universidade Estadual de Campinas como parte dos requisitos exigidos para a obtenção do título de Mestra em Biologia Buco-Dental, na Área de Odontologia Legal e Deontologia.

Dissertation presented to the Piracicaba Dental School of the University of Campinas in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Dental Biology in Forensic Dentistry & Ethics area

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Rodrigues Freire

ESTE EXEMPLAR CORRESPONDE À VERSÃO FINAL DA DISSERTAÇÃO DEFENDIDA PELA ALUNA LARISSA LOPES RODRIGUES E ORIENTADA PELO PROF. DR. ALEXANDRE RODRIGUES FREIRE.

**Piracicaba
2017**

Agência(s) de fomento e nº(s) de processo(s): CAPES, 1592598

Ficha catalográfica
Universidade Estadual de Campinas
Biblioteca da Faculdade de Odontologia de Piracicaba
Marilene Girello - CRB 8/6159

R618d Rodrigues, Larissa Lopes, 1989-
Diferenças morfológicas e biomecânicas causadas pelo ferimento por arma de fogo em osso parietal utilizando a simulação computacional / Larissa Lopes Rodrigues. – Piracicaba, SP : [s.n.], 2017.

Orientador: Alexandre Rodrigues Freire.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Análise de elementos finitos. 2. Crânio. 3. Balística forense. I. Freire, Alexandre Rodrigues, 1985-. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Morphological and biomechanical differences caused by gunshot wounds on the parietal bone using a computational simulation

Palavras-chave em inglês:

Finite element analysis

Skull

Forensic ballistics

Área de concentração: Odontologia Legal e Deontologia(M)

Titulação: Mestra em Biologia Buco-Dental

Banca examinadora:

Alexandre Rodrigues Freire

Isamara Geandra Cavalcanti Caputo

Felippe Bevilacqua Prado

Data de defesa: 05-10-2017

Programa de Pós-Graduação: Biologia Buco-Dental



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DE
CAMPINAS**
Faculdade de Odontologia de Piracicaba



A Comissão Julgadora dos trabalhos de Defesa de Dissertação de Mestrado, em sessão pública realizada em 05 de Outubro de 2017, considerou a candidata LARISSA LOPES RODRIGUES aprovada.

PROF. DR. ALEXANDRE RODRIGUES FREIRE

PROF^a. DR^a. ISAMARA GEANDRA CAVALCANTI CAPUTO

PROF. DR. FELIPPE BEVILACQUA PRADO

A Ata da defesa com as respectivas assinaturas dos membros encontra-se no processo de vida acadêmica do aluno.

AGRADECIMENTOS

Aos funcionários da Universidade Estadual de Campinas e à Faculdade de Odontologia de Piracicaba pelo excelente acolhimento e atendimento.

À Coordenadoria de Pós Graduação e à Equipe Técnica da Coordenadoria de Pós-graduação agradeço pela paciência, atenção e disponibilidade.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro oferecido para realização deste trabalho.

À coordenadora do programa de pós-graduação em Biologia Buco-Dental, Prof. Dr.^a Maria Beatriz Duarte Gavião.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Alexandre Rodrigues Freire, por dividir parte de seu conhecimento comigo, por toda sua paciência e atenção.

Aos Prof. Dr. Eduardo Daruge (*In Memoriam*) por seu amor a Odontologia Legal que me incentivou a ir para a especialização e seguir para o mestrado.

Ao Prof. Dr. Eduardo Daruge Júnior por toda compreensão, ajuda e principalmente pelo incentivo durante o mestrado.

À professora Dr.^a Ana Cláudia Rossi por sua dedicação, empenho, incentivo e sua colaboração essencial ao trabalho.

Ao Prof. Dr. Felipe Bevilacqua Prado, por gentilmente aceitar o convite de participar da minha banca e sua colaboração com este trabalho.

À professora Dr.^a Isamara Geandra Cavalcanti Caputo, por gentilmente aceitar o convite de participar da minha banca.

À minha mãe e minha irmã por sempre estarem ao meu lado.

Ao meu namorado por toda compreensão, companheirismo e ajuda.

Às amigas especiais que conquistei na especialização para a vida toda, Yuli Quintero, Denise Rabelo, Talita Máximo e Bruna Tadeu, pela amizade, apoio, por todos os momentos divididos com vocês.

À Sarah Teixeira Costa por sua dedicação, disposição em ajudar e colaborar.

Aos amigos de turma Marília Leal, Rafael Araújo, Marcos Paulo Salles Machado, Daniel Pignatari, Renato Takeo, Tânia Santos, Rodrigo Ivo Matoso, Juliana Haddad, Thailane Bregadioli, entre outros, sempre dispostos a ajudar.

RESUMO

A análise de elementos finitos é uma técnica cada vez mais utilizada em simulações balísticas, por representar estruturas anatômicas e propriedades biomecânicas semelhantes às do corpo humano e não destruir o material. O estudo da morfologia dos orifícios de entrada do projétil pode ser de utilidade para perícias, principalmente em situações em que não se encontra a arma ou o projétil causador do ferimento. Este estudo teve como objetivo comparar a morfologia, assim como a biomecânica dos orifícios de entrada de projéteis causados pelos calibres 9x19 mm Luger, .380 AUTO e .40 Smith & Wesson no osso parietal. A partir de uma tomografia computadorizada de crânio seco foi construído um modelo de elementos finitos contendo elementos tetraédricos envolvendo toda a estrutura óssea. Os modelos dos projéteis foram construídos a partir de dados fornecidos pela companhia brasileira de cartuchos. Foi utilizado o ANSYS 17.2 para a simulação, por análise dinâmica, do impacto de cada projétil na região do osso parietal, em um ângulo perpendicular e distância de 10 cm. A partir da análise foram coletados os dados de tensão na estrutura óssea, assim como a perda de energia dos projeteis. Também foi realizado a morfometria dos orifícios de entrada. Os resultados demonstraram diferenças morfológicas na forma e área dos orifícios entre os calibres. A estrutura óssea apresentou diferenças na tensão máxima sendo a maior causada pelo calibre .380 e a menor pelo calibre .40. Em porcentagem de perda de energia, houve perda de 14,2%, 10,8% e 7,6% para os calibres .380, .40 e 9mm, respectivamente. Pode-se concluir que no osso parietal, o impacto destes três calibres diferentes resultam em diferenças morfológicas e biomecânicas, cujos dados são importantes para que futuras análises sejam aplicadas como ferramenta para a prática forense.

Palavras-chaves: Análise de elementos finitos; crânio; balística forense.

ABSTRACT

Finite element analysis is a useful tool for ballistic simulation, as represents the anatomical structures as well as the mechanical properties, similar to the human body without the material destruction. The study of entrance wound from projectile might be useful for criminal investigation, mainly in situations that is infeasible to find the gun or the bullet, which cause the wound. The aim of this study was to compare the morphology as well as the biomechanics of the entrance wound on the parietal bone, caused by projectiles with 9x19 mm Luger, .380 AUTO and .40 Smith & Wesson calibers. From CT images of dry skull, a finite element model of skull bones were constructed, containing tetrahedral elements. The models of the projectiles were constructed from drawings, whose data were obtained from the Brazilian bullet company. For the simulations, the software ANSYS 17.2 was used to simulate the impact of projectiles on the parietal bone, perpendicularly from 10 cm distance. The analysis was performed to calculate the stress data in the bone structure, as well as the kinetic energy loss. In addition, a morphometric analysis of the entrance wounds was performed. The results showed morphological differences in shape and area, regarding the change of calibers. The bone structure presented differences in the maximum von Mises stress, which the higher value was found in the .380 caliber case and the lower in the .40 caliber case. The percentages of kinetic energy loss were 14.2%, 10.8% and 7.6% for the calibers .380, .40 and 9x19 mm, respectively. In conclusion, on the parietal bone the impact of this three different calibers resulted in morphological and biomechanical differences, whose the data are important for future analyses that can be applied as tool for forensics practice

Key words: Finite element analysis; skull; forensic ballistics.

SÚMARIO

1 INTRODUÇÃO	09
2 ARTIGO: COMPUTATIONAL SIMULATION OF PROJECTILE INJURIES TO HUMAN PARIETAL BONE USING FINITE ELEMENT ANALYSIS	14
3 CONCLUSÃO	26
REFERÊNCIAS	27
ANEXOS	
ANEXO 1 - Comprovante de submissão	30
ANEXO 2 - Certificação do Comitê de Ética	31

1 INTRODUÇÃO

A balística é o estudo de projéteis em movimento, envolve todo o percurso, da arma ao alvo. As pesquisas relacionadas à balística conduzem a investigação dos padrões de disparo de diferentes munições, a letalidade do impacto e seus efeitos em diferentes alvos, como também o desenvolvimento de métodos de proteção contra diversos tipos de armamento (Humphrey e Kumaratilake, 2016).

As lesões por armas de fogo geralmente são classificadas como lesões ocasionadas por baixa ou alta velocidade. As feridas de baixa velocidade são atribuídas aos projéteis com velocidade inferior a 600 metros por segundo (m/s), causadas por armas de cano curto, mais comuns na população civil. Essa lesão geralmente é menos grave em comparação com as feridas de alta velocidade, causadas por armas militares ou de caça, com uma velocidade de mais de 600 m/s (Lichte, 2010). Armas de cano curto são de importância a estudos por estarem diretamente relacionadas ao fato de que são predominantemente usadas tanto para autodefesa como para cometer crimes (Tochetto, 2011).

Os mecanismos pelos quais um projétil causa trauma são determinados por sua geometria, construção, massa e velocidade do projétil, e as propriedades biomecânicas dos tecidos atingidos, como elasticidade e densidade (Humphrey e Kumaratilake, 2016).

Embora a velocidade seja claramente um aspecto importante do potencial de ferimento, o trauma tecidual está relacionado ao grau de transferência de energia, que depende de vários fatores, como, velocidade do projétil (baixa vs. alta velocidade), perfil de entrada (angulação do projétil), calibre e formato de projétil, trajeto (projéteis penetrantes entregam sua energia cinética total ao corpo, enquanto os projéteis perfurantes transferem significativamente menos), características biológicas do tecido impactado (Lichte, 2010).

Lesões em crânio por arma de fogo aparecem como uma condição prevalente nos países em desenvolvimento, devido a conflitos armados. Além disso, são os ferimentos mais letais dentre todos por arma de fogo, com taxas de sobrevivência relatadas de apenas 7% a 15% (Alvis-Miranda et al., 2015).

Freitas e Bonatelli (2000) a partir da análise de 263 casos de pacientes com ferimento cranioencefálico por projétil de arma de fogo buscaram conhecer os parâmetros capazes de prever o prognóstico precoce dessas lesões no que diz

respeito à mortalidade. E algumas de suas conclusões foram que a trajetória intracraniana do projétil representou importante fator no prognóstico quanto à mortalidade, faleceram 91,4% dos pacientes nos quais o projétil cruzou tanto o plano coronal como o sagital, e apenas 3,8% daqueles em que o projétil não cruzou nenhum dos planos, e que esses ferimentos cranioencefálicos representam lesões extremamente graves, com alta mortalidade e a maior parte dos pacientes com evolução fatal morrem nas primeiras seis horas.

A prevalência dessas lesões juntamente com o alto índice de mortalidade retrata a importância dos peritos e legistas na reconstituição dos eventos com arma de fogo. Os estudos focados nestas lesões servem de base tanto para aprimorar conhecimentos médicos que favorecem o tratamento, como também em âmbito forense.

Os estudos que realizaram a análise dos dados obtidos por exame direto dessas lesões estabelecem correlações entre as características do projétil (velocidade, ângulo de impacto, calibre, perda de energia cinética) e o dano aos tecidos biológicos (Mota, 2003).

Os modelos de estudo para avaliar as lesões de projétil incluem animais (Liu et al., 1982; Jussila et al., 2005a; Lu et al., 2015; Falland-Cheung et al., 2016), cadáveres humanos (Bir, Viano e King, 2004; Raymond et al., 2009) e os feitos de materiais artificiais (Jussila et al., 2005b; Wang et al., 2015; Falland-Cheung et al., 2016).

Os cadáveres utilizados para pesquisa geralmente são de programas de doação de corpos e frequentemente são de pessoas idosas. A elasticidade e resistência dos órgãos e tecidos alteram-se com o aumento da idade (Maiden e Byard, 2015), portanto, tais órgãos / tecidos não serão adequados para a pesquisa de feridas balísticas. Além disso, o uso de cadáveres humanos para pesquisa balística pode gerar problemas éticos. (Zhen et al., 2012; Tang et al., 2012; Humphrey e Kumaratilake, 2016).

Animais vivos e mortos, como cavalos, gados, ovelhas, cães e porcos, já foram amplamente utilizados em pesquisas balísticas, entretanto atualmente estão sendo usados com menor frequência. Os suínos são anatomicamente os mais similares aos humanos e os mais utilizados na prática científica. No entanto, apresentam pele e tecido subcutâneo mais espesso que nos humanos, não podendo

ser utilizados para estudo de feridas em pele. Há também questões éticas e morais que limitam estes estudos (Humphrey e Kumaratilake, 2016).

Os materiais artificiais possuem propriedades biomecânicas semelhantes aos tecidos humanos. No entanto, os modelos que são feitos de materiais artificiais têm alto custos de produção, tempos de produção longos e não reproduzem estruturas anatômicas complexas (Zhen et al., 2012; Tang et al., 2012). Estes estudos revelam a importância de desenvolver-se um modelo de lesão otimizado, mais próximo à realidade anatômica humana, e com resultados fidedignos.

Com o aumento da acessibilidade a técnicas de simulações por disponibilidade de computadores mais eficientes, pelo desenvolvimento de métodos numéricos mais evoluídos tornou-se possível estudar fenômenos incompreensíveis (Mota et al., 2003).

A descoberta da análise de elementos finitos tornou possível a realização de estudos dinâmicos nas diversas engenharias como também para fins médico. O método dos elementos finitos permite reproduzir modelos com estruturas anatômicas e propriedades mecânicas semelhantes às do corpo humano e torna possível analisar regimes de força em cada região para reproduzir todo o processo da lesão. As simulações computacionais e o desenvolvimento de modelos complexos de estruturas biológicas auxiliam na investigação da biomecânica óssea, em áreas como a ortodontia e implantodontia, entre outras, e surge como uma nova ferramenta para auxiliar nas ciências forenses (Matoso et al., 2014; Costa et al., 2017a).

Além da importância de modelos com estruturas anatômicas representadas detalhadamente, Prado et al. (2016), demonstram que o estudo da biomecânica do esqueleto facial também é importante para melhorias em técnicas médicas e odontológicas no reparo de fraturas craniofaciais, cirurgias ortognáticas e implantodontia. O controle nos padrões de tensão e deformação do esqueleto facial fraturado é relevante para implantação de implantes ósseos. A análise de elementos finitos pode informar qual o tipo de implante e o local mais apropriado para a implantação nos ossos faciais, combinando forma e função, de acordo com os dados sobre a deformação óssea, o estresse e a tensão obtidos através da simulação computacional.

Matoso et al. (2014) e Costa et al. (2017b), mostraram que a simulação computacional de ferimentos por arma de fogo no crânio humano permite gerar

resultados das ciências forenses e auxiliares de ambas às comunidades, forenses e de defesa, possibilitando uma previsão mecânica, baseada da fatalidade das feridas. Tal simulação, por sua vez, leva a melhorias tanto na compreensão da sequência de eventos em um incidente por arma de fogo, para fins de ciência forense, quanto a um projeto de equipamentos de proteção, tais como capacetes, para fins de defesa (Mota et al., 2003).

Matoso et al. (2014) realizaram um estudo com o objetivo de comparar as morfologias dos orifícios de entrada de feridas por armas de fogo causados por projéteis de calibres .40 Smith & Wesson (S & W), .380 e 9x19 mm Luger. Foi elaborado um modelos de elementos finitos de um crânio e de cada projétil, e foi realizada uma simulação de disparo à uma distancia de 10 cm entre crânio e projétil, na região da glabella, com ângulo de incidência perpendicular. Os resultados mostraram diferentes morfologias dos orifícios de entrada produzidos pelos três projéteis, usando o mesmo crânio e a mesma distância do tiro.

Costa et al. (2017b) avaliaram a morfologia dos ferimentos de entrada na superfície externa da mandíbula , causados por impacto de projéteis de arma de fogo de três calibres diferentes (.40 S & W, .380 e 9 mm) através de simulação computacional. Cada projétil apresentou diferentes padrões de ferimentos e dissipação de energia, o calibre .40 S & W foi o que mais afetou a mandíbula. Os autores concluíram que os modelos de elementos finitos são úteis para casos forenses que envolvem tiros na mandíbula

Costa et al. (2017a) coletaram dados de 14 artigos selecionados por critérios pré-definidos. Os dados forneceram detalhes de como as simulações foram realizadas, como também, algumas variáveis que podem afetar a simulação, e assim afasta-la da realidade. Os autores concluíram que análise de elementos finitos apresenta vantagens como boa representação das estruturas anatômicas, fácil reprodução e armazenamento. As desvantagens relatadas foram quanto a limitações éticas para a validação do modelo, e a falta de consenso na literatura para estabelecer padrões como: software, validação de modelos, tipos de elementos.

Pesquisas científicas que aplicam a análise de elementos finitos para reproduzir efeitos de disparo de arma de fogo no crânio humano permanecem escassas. Assim novos estudos científicos são necessários na tentativa de validar o uso deste sistema computacional para correlacionar a morfologia das lesões ósseas

produzidas pela ação dinâmica dos projéteis de arma de fogo (Raul et al., 2007; Tang et al., 2012; Matoso et al., 2014; Costa et al., 2017a).

Souza et al. (2013) avaliou traumatismos cranioencefálicos por projétil de arma de fogo durante 16 anos, no serviço de neurocirurgia da Santa Casa de São Paulo, e observou que a principal região encefálica acometida pelo projétil de arma de fogo foi o lobo frontal, seguido pelo temporal, occipital, parietal e região facial. Quatrehomme e Iscan (1999) e Ran et al. (2010) estudaram também a distribuição anatômica destes ferimentos, o primeiro em civis e o segundo em militares. A frequência dos ferimentos nos ossos do crânio pode ser analisada na Tabela 1.

Tabela 1. Frequência dos ferimentos por arma de fogo nos ossos do crânio.

	Estudo 1*	Estudo 2**	Estudo 3***
Frontal	19%	19%	27,6%
Temporal	24%	29%	24,86%
Parietal	27%	26%	14,36%
Occipital	30%	26%	16,57%

*Quatrehomme e Iscan, 1999.

**Ran et. al, 2010.

***Souza et. al. 2013.

Observando que o osso parietal é frequentemente atingido, e a prevalência de lesões no crânio e a taxa de mortalidade relacionadas a disparos de arma de fogo são elevadas, o presente estudo teve como objetivo comparar as morfologias dos orifícios de entrada de projétil causados por calibres .40 Smith & Wesson (S&W), .380 e 9x19 mm Luger por meio da análise de elementos finitos.

O projétil possui evidente valor como evidência, entretanto, frequentemente, não é encontrado durante a necropsia (Berryman, Smith e Synmes, 1995). Cecchetto et al. (2011) acrescentam que quando a arma utilizada não é encontrada durante a investigação ou os projéteis também não são recolhidos na necropsia ou cena do crime, a investigação pode tornar-se mais complexa.

A partir da literatura surge o questionamento principal do estudo se os calibres diferentes causam feridas com diferenças morfológicas e biomecânicas significativas ao atingir o crânio e se essas diferenças podem se tornar evidências na resolução de crimes.

2 ARTIGO: COMPUTATIONAL SIMULATION OF PROJECTILE INJURIES TO HUMAN PARIETAL BONE USING FINITE ELEMENT ANALYSIS

Artigo submetido ao periódico: *Australian Journal of Forensic Sciences* (Anexo 1).

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the morphological and biomechanical characteristics of wound entrance on the parietal bone from impact of projectiles presenting three different calibers. A 3D finite element models of dry human skull and of three projectiles with calibers .380 AUTO, .40 S&W and 9x19 mm Luger were obtained. These geometries were used to perform a simulation of projectile impact on the parietal bone by finite element method. Were calculated the morphological aspect of the wounds on the external bone surface, the equivalent von Mises stress and kinetic energy loss. The wounds from 9x19 mm and .380 calibers presented circular aspect, while the wound from the .40 caliber presented oval aspect. The 9x19 mm caused major wound area, comparing with the other calibers. The maximum von Mises stress in the bone was higher from the .40 caliber penetration and the .380 had the major Kinect energy loss. In conclusion, the 9x19 mm and .380 presented similarity in the shape of the entrance hole. The projectile with 9x19 mm caliber seems to have greater penetration power and the projectile .40 S & W greater power of destruction and dissipation of energy.

Key words: forensic science; finite element analysis; gunshot wounds; craniofacial; parietal bone.

INTRODUCTION

Gunshot wounds in skull appear as a prevalent condition in developing countries due to armed conflict. In addition, they are the most lethal wounds among all by firearm, with reported survival rates of only 7% to 15%¹. This situation around the globe and the multiple types of ballistic bone trauma reveal a persistent need for more technological analysis, reducing the shortcomings of the routine utilized.

It is important that forensic anthropologists utilize advanced techniques that may facilitate enhanced discrimination and accurate interpretation of bone trauma². Besides, understanding deeply gunshot wounds in the head is also important to the

scientists for clinical and military applications³. Finite element analysis is an emerge technique that have been used by researches^{4,5} and tends to be promising in forensic matters, such as the cause of external beveling of entrance defects or the largely unknown effects of projectile construction on wounding characteristics².

Anatomically, the skull cap consists of the frontal, occipital, parietal and temporal bones, being classified as flat bones. The sagittal, coronal, lambdoid and squamous sutures separate these bones, being important for the cranial development. Gunshot wounds in these flat bones generated the classic description as a small entrance wound with an internal beveling in the direction of the projectile, and a larger exit wound with external beveling⁶.

Gunshot wounds in flat bones can also be interpreted macroscopically and described as a characteristic sharp, circular wound on the outer bony table with an associated conoidal defect, larger than the diameter of the bullet in the inner bony table⁷. However, the ultimate morphology of any gunshot lesion is determined by multiple intrinsic and extrinsic factors interacting, such as target bone, biomechanical properties of anatomical tissues affected, fire distance, velocity, energy loss and projectile fired^{5,6}. The knowledge of most of these factors and how their interaction work, makes finite element analysis a precise tool that allows a better understanding of events. Finite element analysis may help to evaluate different gunshot scenarios by giving the possibility to exclude some of them.

Previously finite element studies were conduct in pig mandible⁸, human mandibles^{5,9} and frontal bone^{3,4}. Nonetheless, the parietal bone is a prominent cranium bone and have not been studied yet, despite is enough affected by projectiles. Admissions because of gunshot wounds to the head produced by urban violence are progressively more frequent in the emergency rooms in Brazilian hospitals¹⁰. A study made in Nigeria with computed tomography, showed a predilection of 32.1% for the parietal bone¹¹, researches made in Brazil demonstrated that parietal bone was affected in 14,36% of the sample studied. Besides, parietal bone and its proximities have anatomical variations such as enlarged parietal foramina and intra sutural bones that, at first glance, might be confused with gunshot wounds. Thus, the aim of this study was to investigate, using dynamic finite element analysis, the external morphology and biomechanics of entrance wound produced by 9x19mm Luger, .40 S&W and .380 projectiles, fired at 10 cm.

MATERIAL AND METHODS

The Committee for Ethics of Research of the Piracicaba School of Dentistry - University of Campinas (Protocol number CEP-FOP-UNICAMP - 66180717.5.0000.5418), approved this research.

Finite element model of the skull and projectiles

A dry human skull, male sex, from the Laboratory of Anatomy of Piracicaba Dental School, University of Campinas (FOP/UNICAMP), Brazil, was chosen based on a previous study from our research laboratory⁴. The skull presented the anatomical structures preserved.

Bone surface images of the human skull were acquired using computed tomography scans (GE HiSpeed NX/i CT scanner, General Electric, Denver, CO, USA) at a 0.25-mm slice thickness. The anatomical structures were segmented, and a tridimensional (3D) surface of the skull (figure 1) was obtained and exported in a stereolithographic format (STL) using the MIMICS Research v18 software (Materialise, Leuven, Belgium). Thus, the 3D surface of the skull was converted into a finite elements mesh with a tetrahedral shape (figure 2) using the Materialise 3-Matic Research software, totalizing with different numbers of elements and nodes according to the shape of the projectiles (table 1). To evaluate an accuracy of the result, a mesh quality (q) was calculated by the geometric quality of the elements with an average global value $q = 0.8$, considering a range from 0 (worst) to 1 (best). For greater precision in the results, a refinement of the size of the elements was carried out in the impact region of the projectile, as was done in other studies^{4,5}.

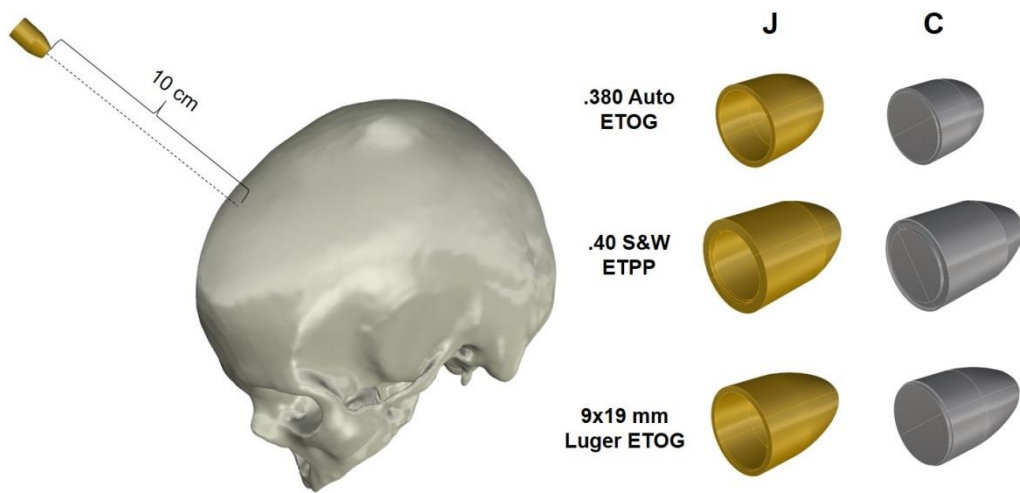


Figure 1. 3D geometry of the skull and the projectiles. The figure 1 also shows the projectile position and distance of shooting

The construction of the projectiles geometry (figure 1) was by the geometric modeling from the data provided by the *Companhia Brasileira de Cartuchos* (CBC, Ribeirão Pires, SP, Brazil) using software Rhinoceros 3D v5.0 (McNeel & Associates, Barcelona, Spain). The geometries of the projectiles were composed of a jacket and a core whose calibers are using in restricted according previously described by Matoso et al.⁴ and Costa et al.⁵. The calibers used were: 9 x 19 mm Luger caliber, .380 caliber, and .40 caliber S&W. The 3D surface of the skull was imported, using the software Rhinoceros 3D v5.0 (McNeel & Associates, Barcelona, Spain), to establish the positioning of the projectiles in relation to the skull (figure 1). Thus, the trajectory of the projectile at a perpendicular angle to the impact surface in the parietal bone was determined.

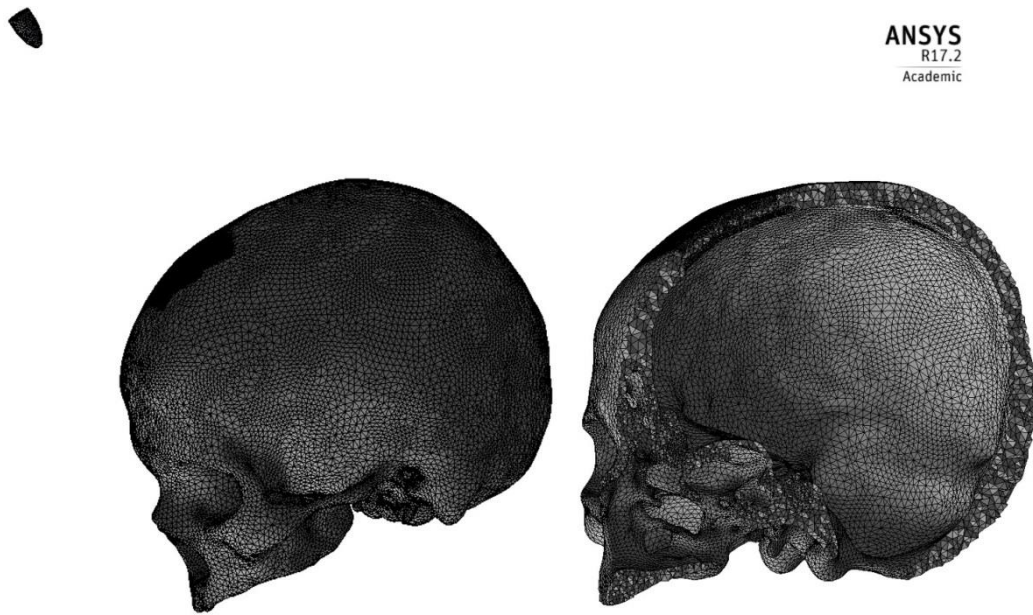


Figure 2. Tetrahedral finite element mesh of skull and the projectile. The sectioned skull shows the internal tetrahedral elements.

Characterization of materials

The materials properties (table 1) of the human skull, and each material in the projectiles (copper jacket and lead core) were assigned to the FE models in Ansys v17.2 (ANSYS, Cannonsburg, PA, USA). The human skull and the projectiles were considered with isotropic stiffness properties. The material failure properties of the bone structure were obtained from the database of MatWeb, LLC¹².

Table 1. Mesh and material properties of the FE models.

	.380 Auto ETOG		.40 S&W ETPP		9x19 mm Luger ETOG		Cortical bone ¹³
	Jacket Cu [*]	Core Pb (99%)/Sb (1%) [‡]	Jacket Cu ^l	Core Pb (99%)/Sb (1%) [‡]	Jacket Cu ^l	Core Pb (99%)/Sb (1%) [‡]	
Elastic modulus (GPa)	115	14	115	14	115	14	14
Poisson ratio	0.3	0.38	0.3	0.38	0.3	0.38	0.3
Number of elements/nodes	2,144/747	4,919/1,059	6,519/1,864	14,344/2,888	2,520/861	5,353/1,153	912,213/185,842

* Cu UNS C23000¹²

‡ Pb 99%/ Sb 1%¹²

^l Cu UNS C22000¹²

GPA = Gigapascal

Simulation by the finite element method

For the simulation of bullet impact on the parietal bone surface, an explicit dynamics analysis was done through the solver AUTODYN, using the Ansys v17.2 software (ANSYS, Cannonsburg, PA, USA).

This study established a simulation of the short distance impact of 3 projectiles, each one with different caliber: 9x19 mm Luger, .380 Auto and .40 S & W. The calibers were chosen based on their availability in Brazil⁴. The simulation reproduced a generic situation, to evaluate and compare the morphological characteristics of the entrance wound as well as the biomechanical characteristics.

The boundary conditions were set by applying displacement restrictions on the three axes (x, y and z) at the joint of the first cervical vertebra and at regions of insertion of the cervical muscles to establish the stability of the skull under *in vivo* conditions. The loading conditions were set in accordance with dynamic explicit analysis, which involved the initial speed and the effect of gravity. The projectiles were positioned from a distance of 10 cm, simulating a short distance shoot. This condition represents a situation of a point-blank shoot.

The material behavior during the projectile impact and penetration was based on the material failure properties according to the software configuration. The program calculated this process by combining the failure properties, the stress limits on the geometry and the interaction between the models⁴.

The projectile specifications of velocity conditions, mass, kinetic energy and shape were selected according to data provided by a Brazilian manufacturer of weapons and ammunition (*Companhia Brasileira de Cartuchos*, CBC, Ribeirão Pires, Brazil). The Ansys software was used for the simulation that provided impact velocity and residual velocity (table 2).

Table 2. Kinetic characteristics of the projectiles.

Projectiles	Initial velocity (m/s)	Mass (g)
.380 Auto ETOG	288	6.16
.40 S&W ETPP	300	11.66
9x19 mm Luger ETOG	343	7.45

Analyses of results

The external morphology of entrance holes in the human parietal bone of the 3D- finite element model of skull was measured. After calibration, from the image

scale, the measurements were performed using Image J software (National Institute of Health - NIH, USA). The vertical and transversal diameters were measured, and the area of each hole was calculated. In order to determine the precision of the measurements, the intra-class coefficient (ICC) was calculated using Bioestat 5.3 software (Instituto Mamirauá, Brazil). The shape of the external entrance holes in the human parietal bone was evaluated.

Equivalent von Mises stress (VM stress) distributed around the ballistic impact area on parietal bone were analyzed. VM stress distribution was analyzed according to the scale for stress, which allows for evaluations of sites of higher and lower intensity (in Megapascal – MPa).

The Kinect energy loss from the projectiles was calculated to figure out the damage after the impact and, then, to investigate the relation between wound shape/morphology and the caliber. To calculate the kinetic energy loss, the initial velocity and post-collision velocity were considered^{5, 9}.

RESULTS

External morphology of entrance wounds in the human parietal bone

After the impact of the projectiles, we verified the morphological aspect of the wounds on the external bone surface. On the internal surface, the bone destruction was irregular due to the dissipation of energy in a divergent manner, characteristic of the beveling (Bonnet funnel pattern) (Kieser et al., 2011). From the external contour of the wounds, it was possible to relate to specific shapes (figure 3). The calibers 9x19 mm Luger and .380 Auto presented circular shape. The .40 S & W caliber was oval shape.

The measurements were obtained with excellent intraclass correlation (ICC = 1, $p < 0.0001$) and the values corresponding to the vertical and transversal diameters, as well as the areas of the wounds were presented in table 3.

Table 3. Results of the morphometric analysis of the external wound on the bone surface.

	Vertical diameter (mm)	Transversal diameter (mm)	Diference between diameters	Area (mm²)
9x19mm Luger	17.4	18	0.6	254.8
.380 AUTO	14.5	15.8	1.3	196.8
.40 S&W	19.3	16.6	3.3	243.9

VM stress

In the regions, farther from the impact area, higher stress dissipation can be observed in .380 Auto and .40 S & W calibers. Around the wounds, VM stress in the bone structure showed maximum stress equal to 87.8 MPa, 96.5 MPa and 115.1 MPa in .380 Auto, 9x19 mm Luger and .40 S & W calibers, respectively.

Figure 3 show the stress distribution after the projectiles penetration through the human parietal bone. This image shows the possibility of comparing stress patterns for distinct projectiles fired at 10 cm of distance.

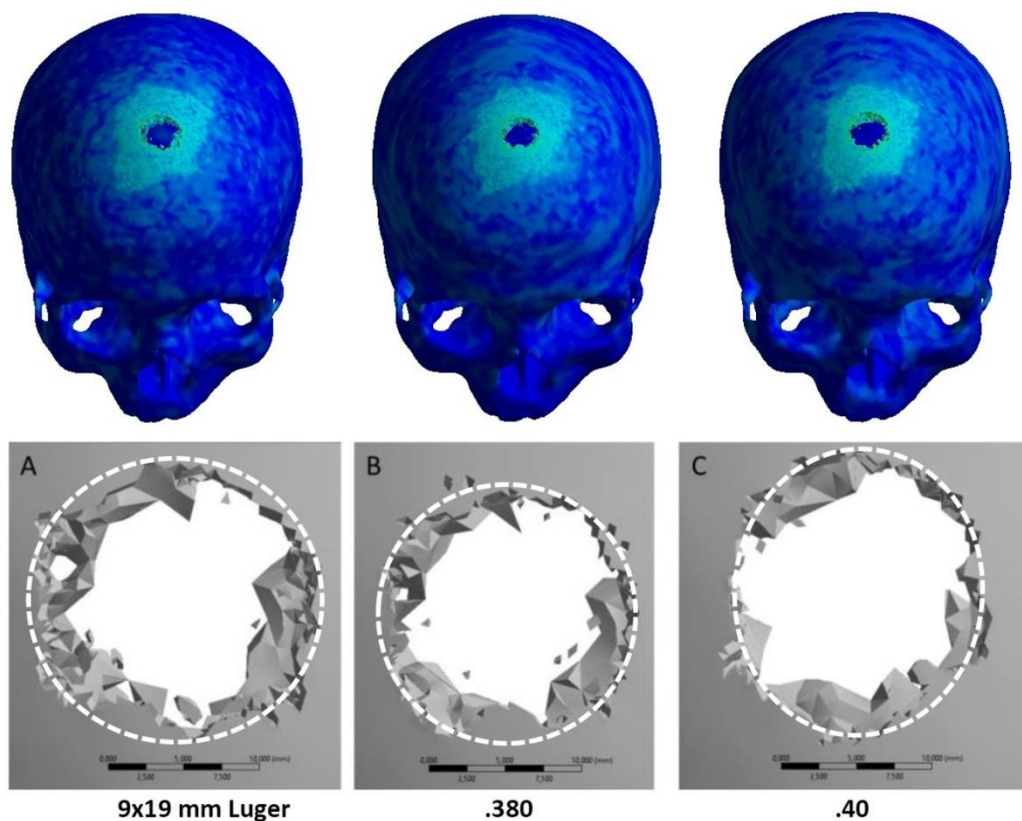


Figure 3. On the top, the figure shows the von Mises stress distribution after the penetration of the projectiles. On the bottom the figure shows the shape aspect of the entrance wounds. A: 9x19 mm Luger; B: .380 AUTO and C: .40 S&W.

Energy loss

After the dissipation of the energy in the bone structure, the projectiles lost velocity and, thus, the kinetic energy. Calculating the initial and final kinetic energy, the percentages of loss were equal to 14.2%, 10.8%, 7.6% in the calibers .380 AUTO, .40 S & W and 9x19 mm Luger, respectively.

DISCUSSION

Head injury is an especial subject for which the mechanism of injury may be principally problematic to appreciate. New scientific studies are needed to correlate the morphology of bone lesions produced by the dynamic action of firearm projectiles. There are a few number of studies in the biomechanical analysis of an injury to the forehead region of the skull as well as a kinetic energy produced by gunshot to the forehead. Thus, many efforts have been made to establish a finite element model to simulate the injury process to the human head^{3,4,5,9,14} because determining directionality based on bone defect morphology alone could sometimes

be impossible. Our research contributes to employ a 3D finite element model of the human skull to investigate the external morphology and biomechanics of entrance wound produced by 9x19mm Luger, .40 S&W and .380 projectiles, fired at 10 cm.

Matoso et al.⁴ simulated using finite element method the impact of the projectiles comparing the same calibers and distance according to the present study, but on frontal bone. The results presented different morphologies, with triangular aspect in the calibers 9mm and .380 and rounded in the caliber .40. The morphological aspect of the wounds in our study presented a rounded format for the 9x19 mm Luger and .380 calibers and oval for the .40 caliber, this oval format was confirmed with the measurements performed, since the difference between the .40 was higher than the other calibers. The morphological differences between the frontal bone⁴ and the parietal bone wounds may be related to the presence of internal irregularities in the frontal bone, such as the frontal sinus. Furthermore, the entrance wound in flat bones, such as the parietal bone, is associated to a circular shape, which the caliber has influence in this feature^{7,15}.

In ballistic trauma, is important to establish critical impact energies to determine the utility of delamination as a projectile indicator². The penetration power of the projectile may be related to the loss of kinetic energy⁵. The .380 caliber recorded a greater loss of kinetic energy, 14.2%, due to several factors such as its speed and smaller dimensions in relation to the others calibers, and thus, a greater energy is needed to break the bone structure. Already the 9mm caliber recorded a lower energy loss, 7.6%, characterizing a projectile with greater penetration power. With the intermediate energy loss of 10.8%, the .40 caliber projectile has larger dimensions than other calibers and the flat end. The .40 caliber size contributes to a lower energy loss compared to the .380, but the increase of the contact surface at the moment of impact by the flat end results in a greater loss of energy in relation to the 9mm. These characteristics showed similar behavior in the frontal bone⁴.

The maximum values of the von Mises stress in the impacted area for each projectile presented differences, being the largest value for .380, expressing that a greater amount of energy was needed to reach the critical resistance, and thus to cause the injury. The .380 compared to the others is a bullet of smaller dimensions, lighter and with rounded tip, consequently the stress applied in the rupture of the bone structure was greater. The .40 caliber showed lower value and this is due to the shape of the projectile, being larger and with flat end, which promotes a larger

contact surface, thus greater area for voltage distribution. The 9mm was intermediate, due to the fact that its end is rounded as the .380, however, it has larger dimensions.

Our results allowed concluded that: the simulation showed that there is similarity in the shape of the entrance hole caused by the 9x19 mm Luger and .380 Auto projectiles. The projectile with 9x19 mm caliber seems to have greater penetration power and the projectile .40 S & W greater power of destruction and dissipation of energy.

ACKNOWLEDGMENTS

The authors are grateful to Coordination for the Improvement of Higher Level - or Education- Personnel (CAPES, Brazil) to financial support.

The authors thanks to Mr. Ivan Moraes Gasparotti and the *Companhia Brasileira de Cartuchos* (CBC, Ribeirão Pires, SP, Brazil) for contributing with the technical information about the projectiles used in this study.

REFERENCES

1. Alvis-Miranda HR, Adie Villafañe R, Rojas A, Alcalá-Cerra G, Moscote-Salazar LR. Management of Craniocerebral Gunshot Injuries: A Review. *Korean J Neurotrauma*. 2015 Oct;11(2):35-43.
2. Rickman JM, Smith MJ. Scanning electron microscope analysis of gunshot defects to bone: an underutilized source of information on ballistic trauma. *J Forensic Sci*. 2014 Nov;59(6):1473-1486.
3. Karimi A, Razaghi R, Navidbakhsh M, Sera T, Kudo S. Dynamic finite element simulation of the gunshot injury to the human forehead protected by polyvinyl alcohol sponge. *J Mater Sci Mater Med*. 2016 Apr;27(4):74.
4. Matoso RI, Freire AR, Santos LSM, Daruge Junior E, Rossi AC, Prado FB. Comparison of Gunshot Entrance Morphologies Caused by .40-Caliber Smith & Wesson, .380-Caliber, and 9-mm Luger Bullets: A Finite Element Analysis Study. *PLoS One* 2014; 9(10): 1-8.
5. Costa ST, Freire AR, Matoso RI, Daruge Júnior E, Rossi AC, Prado FB. Computational Approach to Identify Different Injuries by Firearms. *J Forensic Sci*. 2017 Mar;62(2):361-368.

6. Machado MP, Simões MP, Gamba TO, Flores IL, Haiter Neto F, Durão CH, Daruge Júnior E, Cunha E. A Wormian Bone, Mimicking an Entry Gunshot Wound of the Skull, in an Anthropological Specimen. *J Forensic Sci.* 2016 May;61(3):855-857.
7. Kieser JA, Tahere J, Agnew C, Kieser DC, Duncan W, Swain MV, Reeves MT. Morphoscopic analysis of experimentally produced bony wounds from low-velocity ballistic impact. *Forensic Sci Med Pathol.* 2011 Dec;7(4):322-332.
8. Chen Y, Miao Y, Xu C, Zhang G, Lei T, Tan Y. Wound ballistics of the pig mandibular angle: a preliminary finite element analysis and experimental study. *J Biomech.* 2010 Apr 19;43(6):1131-1137.
9. Tang Z, Tu W, Zhang G, Chen Y, Lei T, Tan Y. Dynamic simulation and preliminary finite element analysis of gunshot wounds to the human mandible. *Injury.* 2012 May;43(5):660-665.
10. Martins RS, Siqueira MG, Santos MT, Zanon-Collange N, Moraes OJ. Prognostic factors and treatment of penetrating gunshot wounds to the head. *Surg Neurol.* 2003 Aug;60(2):98-104; discussion 104.
11. Obajimi MO, Ogbole GI, Adeniji-Sofoluwe AT, et al. Cranial computed tomographic findings in Nigerian women with metastatic breast cancer. *Nigerian Medical Journal: Journal of the Nigeria Medical Association.* 2013;54(2):123-128.
12. <http://www.matweb.com/2013>
13. Wroe S, Ferrara TL, McHenry CR, Curnoe D, Chamoli U. The craniomandibular mechanics of being human. *Proc Biol Sci.* 2010; 277(1700):3579-3586.
14. Raul JS, Deck C, Meyer F, Geraut A, Willinger R, Ludes B. A finite element model investigation of gunshot injury. *Int J Legal Med.* 2007 Mar;121(2):143-146.
15. Quatrehomme G, Işcan MY. Characteristics of gunshot wounds in the skull. *J Forensic Sci.* 1999 May;44(3):568-576.

3 CONCLUSÃO

A partir dos resultados deste estudo foi possível concluir que:

- Diferenças morfológicas qualitativas (forma da lesão) e quantitativas (área e diâmetro da lesão) foram observadas nos orifícios causados pelos projéteis testados;
- A convergência entre calibre do projétil e dimensões da lesão é de interesse prático a área forense quando, por exemplo, o projétil não é encontrado;
- O poder de destruição pode ser caracterizado através da perda de energia cinética de cada projétil e da avaliação da tensão de von Mises da estrutura óssea;
- Mais pesquisas devem ser realizadas para que no futuro esta técnica se torne uma ferramenta para a prática forense.

Referências ¹

Alvis-Miranda HR, Adie Villafañe R, Rojas A, Alcala-Cerra G, Moscote-Salazar LR. Management of Craniocerebral Gunshot Injuries: A Review. *Korean J Neurotrauma*. 2015 Oct;11(2):35-43.

Berryman HE, Smith OC, Symes SA. Diameter of Cranial Gunshot Wounds as a Function of Bullet Caliber. *J Forensic Sci* 1995; 40: 751–754.

Bir C, Viano D, King A. Development of biomechanical response corridors of the thorax to blunt ballistic impacts. *J Biomech*. 2004 Jan;37(1):73-9.

Cecchetto G, Giraudo C, Amagliani A, Viel G, Fais P, Cavarzeran F, et al. Estimation of the firing distance through micro-CT analysis of gunshot wounds. *Int J Legal Med* 2011;125: 245–251.

Costa ST, Freire AR, Rossi AC, Eduardo Daruge Júnior E, Prado FB. Systematic review of finite element analysis utilisation in craniofacial gunshot wounds. *Australian Journal of Forensic Sciences*. 2017a;Vol. 49 , Iss. 4,

Costa ST, Freire AR, Matoso RI, Daruge Júnior E, Rossi AC, Prado FB. Computational Approach to Identify Different Injuries by Firearms. *J Forensic Sci*. 2017b, Mar;62(2):361-368.

Falland-Cheung L, Piccione N, Zhao T, Lazarjan MS, Hanlin S, Jermy M, Waddell JN. Investigation of dental alginate and agar impression materials as a brainsimulant for ballistic testing. *Forensic Sci Int*. 2016 Jun;263:169-175.

Freitas PEP, Bonatelli APF. Lesões cranioencefálicas por projétil de arma de fogo: fatores de avaliação da mortalidade. *J Bras Neurocirurg*, 2000; 11(3): 89-105.

¹ De acordo com as normas da UNICAMP/FOP, baseadas na padronização do International Committee of Medical Journal Editors - Vancouver Group. Abreviatura dos periódicos em conformidade com o PubMed

Jussila J, Kjellström BT, Leppäniemi A. Ballistic variables and tissue devitalisation in penetrating injury--establishing relationship through meta-analysis of a number of pig tests. *Injury*. 2005a Feb;36(2):282-92.

Jussila J, Leppäniemi A, Paronen M, Kulomäki E. Ballistic skin simulant. *Forensic Sci Int*. 2005b May 28;150(1):63-71.

Liu YQ, Wu BJ, Xie GP, Chen ZC, Tang CG, Wang ZG. Wounding effects of two types of bullets on soft tissue of dogs. *Acta Chir Scand Suppl*. 1982;508:211-21.

Lichte P, Oberbeck R, Binnebösel M, Wildenauer R, Pape HC, Kobbe P. A civilian perspective on ballistic trauma and gunshot injuries. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med*. 2010 Jun 17;18:35.

Lu H, Wang L, Zhong W, Qi R, Li N, You W, Su X, Zhuang Z, Cheng H, Shi J. Establishment of swine-penetrating craniocerebral gunshot wound model. *J Surg Res*. 2015 Dec;199(2):698-706.

Maiden NR and Byard RW. Unpredictable tensile strength biomechanics may limit thawed cadaver use for simulant research, *Aust. J. Forensic Sci.* (2015) 1–5. DOI: 10.1080/00450618.2015.1025842

Matoso RI, Freire AR, Santos LS, Daruge Junior E, Rossi AC, Prado FB. Comparison of gunshot entrance morphologies caused by .40-caliber Smith & Wesson,.380-caliber, and 9-mm Luger bullets: a finite element analysis study. *PLoS One*. 2014 Oct 24;9(10):e111192.

Mota A, Klug WS, Ortiz M, Pandolfi A. Finite-element simulation of firearm injury to the human cranium. *Comput Mech* 2003; 31:115–121.

Prado FB, Freire AR, Cláudia Rossi A, Ledogar JA, Smith AL, Dechow PC, Strait DS, Voigt T, Ross CF. Review of In Vivo Bone Strain Studies and Finite Element Models

of the Zygomatic Complex in Humans and Nonhuman Primates: Implications for Clinical Research and Practice. *Anat Rec (Hoboken)*. 2016 Dec;299(12):1753-1778.

Ran Y, Yagudaev M, Kosashvili Y, Yegorov Y, Ganor O, Ash N, Hirschhorn G. Anatomic distribution of bullet head injuries in combat fatalities. *J Trauma*. 2010 Sep;69(3):541-3.

Raul JS, Deck C, Meyer F, Geraut A, Willinger R, Ludes B. A finite element model investigation of gunshot injury. *Int J Legal Med*. 2007 Mar;121(2):143-6.

Raymond D, Van Ee C, Crawford G, Bir C. Tolerance of the skull to blunt ballistic temporo-parietal impact. *J Biomech*. 2009 Nov 13;42(15):2479-85.

Souza RB, Todeschini AB, Veiga JCE, Saade N, Aguiar GB. Traumatismo cranioencefálico por projétil de arma de fogo: experiência de 16 anos do Serviço de Neurocirurgia da Santa Casa de São Paulo. *Rev Col Bras Cir*. 2013;40(4).

Tang Z, Tu W, Zhang G, Chen Y, Lei T, Tan Y. Dynamic simulation and preliminary finite element analysis of gunshot wounds to the human mandible. *Injury*. 2012 May;43(5):660-5.

Tocchetto D. *Balística Forense – Aspectos Técnicos e Jurídicos*. Campinas, Brasil: Millennium Editora Ltda; 2011. p. 432.

Quatrehomme G, Işcan MY. Characteristics of gunshot wounds in the skull. *J Forensic Sci*. 1999 May;44(3):568-76.

Wang Y, Shi X, Chen A, Xu C. The experimental and numerical investigation of pistol bullet penetrating soft tissue simulant. *Forensic Sci Int*. 2015 Apr;249:271-9.

Zhen T, Zhonghua Z, Gang Z, Yubin C, Tao L, Yinghui T. Establishment of a three-dimensional finite element model for gunshot wounds to the human mandible. *Mil Med Res*. 2012; 27: 87-100.

ANEXO 1 - Comprovante de submissão

ScholarOne Manuscripts™

Alexandre Freire ▾Instructions & FormsHelpLog Out

Australian Journal of Forensic SciencesTaylor & Francis Group

HomeAuthorReview

Author Dashboard

Submitted Manuscripts

1 Submitted Manuscripts >

2 Manuscripts I Have Co-Authored >

Start New Submission

Legacy Instructions

5 Most Recent E-mails

English Language Editing Service

Submitted Manuscripts

STATUS	ID	TITLE	CREATED	SUBMITTED
EA: Robertson, Margaret	TAUF-2017-0134	COMPUTATIONAL SIMULATION OF PROJECTILE INJURIES TO HUMAN PARIETAL BONE USING FINITE ELEMENT ANALYSIS	28-Aug-2017	28-Aug-2017
• Awaiting Editorial Administrator Processing				
View Submission				
Cover Letter				

SCHOLARONE™

THOMSON REUTERS™

© Thomson Reuters | © ScholarOne, Inc., 2017. All Rights Reserved. ScholarOne Manuscripts and ScholarOne are registered trademarks of ScholarOne, Inc. ScholarOne Manuscripts Patents #7,257,767 and #7,263,655.

ANEXO 2 - Certificação do Comitê de Ética



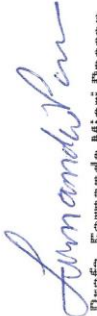
COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA
UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS



CERTIFICADO

O Comitê de Ética em Pesquisa da FOP-UNICAMP certifica que o projeto de pesquisa **"Análise dinâmica do crânio humano alvo de ferimentos de entrada e saída produzidos por projéteis de diferentes calibres por arma de fogo pelo método de análise de elementos finitos"**, protocolo CAAE nº 66180717.5.0000.5418, dos pesquisadores Sarah Teixeira Costa, Ana Claudia Rossi, Alexandre Rodrigues Freire, Eduardo Daruge Júnior, Larissa Lopes Rodrigues e Thaianie Bregadioli, satisfaz as exigências do Conselho Nacional de Saúde – Ministério da Saúde para as pesquisas em seres humanos e foi aprovado por este comitê em 05 de setembro de 2017.

The Ethics Committee in Research of the Piracicaba Dental School, University of Campinas, certify that the project "Dynamic analysis of entrance and exit wounds in human skull produced by different firearm projectiles by the method of finite elements analysis", CAAE 66180717.5.0000.5418, of Sarah Teixeira Costa, Ana Claudia Rossi, Alexandre Rodrigues Freire, Eduardo Daruge Júnior, Larissa Lopes Rodrigues and Thaianie Bregadioli, comply with the recommendations of the National Health Council – Ministry of Health of Brazil for research in human subjects and therefore was approved by this committee on September 05, 2017.


Prof. Fernanda Miori Pascon
 Vice Coordenador
 CEP/FOP/UNICAMP


Prof. Jackson Jorge Junior
 Coordenador
 CEP/FOP/UNICAMP

Nota: O título do protocolo e a lista de autores aparece como fornecidos pelos pesquisadores, sem qualquer edição.
 Notice: The title and the list of researchers of the project appears as provided by the authors, without editing.