



RODRIGO IVO MATOSO

**COMPARISON OF GUNSHOT ENTRANCE
MORPHOLOGIES CAUSED BY .40-CALIBER SMITH &
WESSON, .380-CALIBER, AND 9-MM LUGER BULLETS: A
FINITE ELEMENT ANALYSIS STUDY**

**COMPARAÇÃO DE MORFOLOGIAS DE ORIFÍCIOS DE
ENTRADA CAUSADOS POR PROJÉTEIS DE CALIBRE .40
SMITH & WESSON, CALIBRE .380, E 9 MM LUGER:
ESTUDO COM ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS**

PIRACICABA

2014



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

RODRIGO IVO MATOSO

**COMPARISON OF GUNSHOT ENTRANCE MORPHOLOGIES CAUSED BY .40-
CALIBER SMITH & WESSON, .380-CALIBER, AND 9-MM LUGER BULLETS: A
FINITE ELEMENT ANALYSIS STUDY**

**COMPARAÇÃO DE MORFOLOGIAS DE ORIFÍCIOS DE ENTRADA
CAUSADOS POR PROJÉTEIS DE CALIBRE .40 SMITH & WESSON, CALIBRE
.380, E 9 MM LUGER: ESTUDO COM ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS**

Dissertation presented to the Piracicaba Dentistry School of the University of Campinas in partial fulfillment of the requirements for the degree of Master in Buco-Dental Biology, in Forensic Dentistry area.

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

Orientador: Prof. Dr. Felipe Bevilacqua Prado

Este exemplar corresponde à versão final da dissertação defendida pelo aluno Rodrigo Ivo Matoso e orientada pelo Prof. Dr. Felipe Bevilacqua Prado.

Assinatura do Orientador

PIRACICABA

2014

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

M428c Matoso, Rodrigo Ivo, 1978-
Comparação de morfologias de orifícios de entrada causados por projéteis de calibre .40 Smith & Wesson, calibre .380, e 9 mm Luger : estudo com análise de elementos finitos / Rodrigo Ivo Matoso. – Piracicaba, SP : [s.n.], 2014.

Orientador: Felipe Bevilacqua Prado.
Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Odontologia de Piracicaba.

1. Ferimentos por arma de fogo. 2. Análise de elementos finitos. 3. Balística forense. 4. Biomecânica. 5. Ciências forenses. 6. Odontologia legal. 7. Medicina legal. I. Prado, Felipe Bevilacqua, 1980-. II. Universidade Estadual de Campinas. Campinas. Faculdade de Odontologia de Piracicaba. III. Título.

Informações para Biblioteca Digital

Título em outro idioma: Comparison of gunshot entrance morphologies caused by .40-caliber Smith & Wesson, .380-caliber, and 9-mm Luger bullets : a finite element analysis study

Palavras-chave em inglês:

Gunshot wounds

Finite element analysis

Forensic ballistics

Biomechanics

Forensic sciences

Forensic dentistry

Forensic medicine

Área de concentração: Odontologia Legal e Deontologia

Titulação: Mestre em Biologia Buco-Dental

Banca examinadora:

Felippe Bevilacqua Prado [Orientador]

Casimiro Abreu Possante de Almeida

Eduardo Daruge Junior

Data de defesa: 30-01-2014

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 30 de Janeiro de 2014, considerou o candidato RODRIGO IVO MATOSO aprovado.

A stylized signature in blue ink, consisting of a large loop followed by several smaller, connected strokes.

Prof. Dr. FELIPPE BEVILACQUA PRADO

A signature in blue ink, featuring a large, flowing initial 'C' followed by several smaller, connected strokes.

Prof. Dr. CASIMIRO ABREU POSSANTE DE ALMEIDA

A signature in blue ink, featuring a large, flowing initial 'E' followed by several smaller, connected strokes.

Prof. Dr. EDUARDO DARUGE JUNIOR

ABSTRACT

Firearms can cause fatal wounds, which can be identified by traces on or around the body. However, there are cases where neither the bullet nor gun is found at the crime scene. Ballistic research involving finite element models can reproduce computational biomechanical conditions, without compromising bioethics, as they involve no direct tests on animals or humans. This study aims to compare the morphologies of gunshot entrance holes caused by .40-caliber Smith & Wesson (S&W), .380-caliber, and 9×19-mm Luger bullets. A fully metal-jacketed .40 S&W projectile, a fully metal-jacketed .380 projectile, and a fully metal-jacketed 9×19-mm Luger projectile were computationally fired at the glabellar region of the finite element model from a distance of 10 cm, at perpendicular incidence. The results show different morphologies in the entrance holes produced by the three bullets, using the same skull at the same shot distance. The results and traits of the entrance holes are discussed. Finite element models allow feasible computational ballistic research, which may be useful to forensic experts when comparing and analyzing data related to gunshot wounds in the forehead.

Keywords: Gunshot wounds, Finite element analysis, Forensic ballistics, Biomechanics, Forensic medicine, Forensic dentistry, Forensic sciences.

RESUMO

Armas de fogo podem causar feridas fatais e serem identificadas pelos vestígios deixados no corpo ou em torno deste. Entretanto, há casos em que nem projétil e nem arma do delito estão dispostos no local de crime. Estudos balísticos envolvendo modelos de elementos finitos podem reproduzir condições biomecânicas computacionais, sem ferir princípios bioéticos, pois não ocorrem testes diretos em animais ou em seres humanos. O objetivo deste estudo é comparar as morfologias de orifícios de entrada causados por projéteis de calibre .40 Smith & Wesson (S&W), calibre .380 e calibre 9×19 mm Luger. Um projétil .40 S&W encamisado total, um projétil .380 encamisado total e um projétil 9×19 mm Luger encamisado total foram computacionalmente disparados contra região de glabella do modelo de elementos finitos, à distância de 10 cm, com incidência perpendicular ao ponto do alvo. Os resultados apresentam diferentes morfologias nos orifícios de entrada produzidos pelos três projéteis, utilizando-se o mesmo modelo de crânio e na mesma distância de tiro. Os resultados e as características dos orifícios de entrada foram discutidos. Modelos de elementos finitos permitem pesquisas balísticas computacionais praticáveis, que podem ser úteis para peritos forenses quando da comparação e análise de dados relacionados a feridas por arma de fogo na região frontal do crânio.

Palavras-chave: Ferimentos por arma de fogo, análise de elementos finitos, balística forense, biomecânica, medicina legal, odontologia legal, ciências forenses.

SUMÁRIO

DEDICATÓRIA	xiii
AGRADECIMENTOS	xv
EPIÍGRAFE	xxi
INTRODUÇÃO	1
CAPÍTULO 1: Comparison of gunshot entrance morphologies caused by .40-caliber Smith & Wesson, .380-caliber, and 9-mm Luger bullets: a finite element analysis study*	4
CONCLUSÃO.....	26
REFERÊNCIAS	27
ANEXO 1 – Comprovante de submissão de artigo <i>online</i> – Periódico PLOS ONE.....	31
ANEXO 2 – Carta de submissão do artigo à publicação – Periódico PLOS ONE.....	32
ANEXO 3 – Certificado do Comitê de Ética em Pesquisa da FOP-UNICAMP	33

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais **Vania Maria Ivo Matoso** e **Antonio Edson da Silva Matoso**, que abriram mão de muitos dos seus sonhos para realizarem os meus e os de minhas irmãs. Pais dedicados que sempre zelaram pela minha vida e pela formação do meu caráter.

Às minhas irmãs **Danielle Ivo Matoso** e **Lorena Ivo Matoso**, dedico este trabalho. Pois, ora estou colhendo parte do que a nossa convivência e crescimento de irmãos nos permitiu semear juntos.

Dedico também ao meu pequeno filho **Gabriel Barreto Matoso**, que desde sua concepção transformou a minha vida; transformou o meu ser para melhor, como homem e como pai.

Às minhas avós **Maria José Cacula Alves** (materna) e **Maria Eulália Holanda e Silva** (paterna), *in memoriam*, pela dedicação e pelos cuidados que tiveram comigo.

Dedico aos meus sobrinhos **Pablo, Davi e Isabela**, e à minha afilhada **Pietra**, crianças que vejo crescendo no amor de Cristo e muito bem educados.

À grande amiga **Marcela Campelo Pereira**, dedico este trabalho pelo apoio ao longo desta caminhada.

AGRADECIMENTOS

A **Deus Pai, Filho e Espírito Santo**, Criador do Céu e da Terra, por me dar paz de espírito e saúde, e por me permitir chegar até estes dias de minha vida. Louvado seja nosso senhor Jesus Cristo!

À **Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)**, na pessoa do **Reitor Prof. Dr. José Tadeu Jorge**.

À **Faculdade de Odontologia de Piracicaba (FOP-UNICAMP)**, em nome do seu **Diretor, o Prof. Dr. Jacks Jorge Junior**, e do seu **Diretor Associado, o Prof. Dr. Alexandre Augusto Zaia**.

À **Profª. Drª. Renata Cunha Matheus Rodrigues Garcia**, Coordenadora-Geral dos cursos de Pós-Graduação e à **Profª. Drª. Renata de Oliveira Mattos-Graner**, Coordenadora do Curso de Pós-Graduação em Biologia Buco-Dental.

Aos professores e demais servidores do **Departamento de Odontologia Social (área de Odontologia Legal)** e ao **Departamento de Morfologia (área de Anatomia)**.

Ao grande mestre **Eduardo Daruge**, o meu muito obrigado! Renomado cientista das ciências forenses, o qual desde minha época de acadêmico de Odontologia na Universidade Federal do Pará eu já admirava. Saiba, grande mestre, que um dos pontos altos de minha vida profissional foi ter sido convidado pelo senhor e pelo Daruge Junior para colaborar no livro em que o senhor e ele são os mentores. Obrigado por ter me feito apaixonar pela Odontologia Legal! Obrigado por conversar comigo coisas sobre Ciência e sobre a vida! Saiba também o quão importante é, para mim, chamá-lo de meu professor!

Agradeço muito ao meu querido professor **Eduardo Daruge Junior**, que desde que me conheceu depositou bastante confiança no meu trabalho e na minha pessoa. Muito obrigado, Tico, por todos os ensinamentos repassados, por ter me tratado como um aluno-amigo-filho, por todas as oportunidades concedidas, por todos os momentos que vivemos e compartilhamos durante a época do meu mestrado na FOP-UNICAMP!

Ao meu querido orientador, o qual tenho o prazer de chamar de amigo, o Professor Doutor **Felippe Bevilacqua Prado**. Pessoa iluminada por Deus e que me orientou neste trabalho com todo zelo, boa-vontade e exigência para que eu pudesse fazer o meu melhor, pela Ciência. Mestre, obrigado por ter doado seu tempo e seu conhecimento a mim! Muito obrigado pela confiança no meu trabalho! Certamente, tentarei orientar futuros trabalhos, espelhando-me em seus exemplos.

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

Aos **servidores da Biblioteca da UNICAMP e da Biblioteca da FOP-UNICAMP**.

Ao amigo e professor **Casimiro Abreu Possante de Almeida**, pelos conselhos, pelas observações, que com muita humildade e sabedoria me fez crescer na Odontologia Legal. A você, Casimiro, meus sinceros agradecimentos e admiração!

Ao **Prof. Dr. Francisco Carlos Groppo**, pelas imprescindíveis observações e sugestões feitas por ocasião do meu Exame de Qualificação no Mestrado em 11/10/2013.

Ao **Prof. Dr. Luiz Francesquini Júnior**, pelos ensinamentos importantes durante meu tempo no mestrado.

Infinitos agradecimentos aos meus pais **Vania e Edson**, por tudo o que me proporcionaram em termos de educação, de conselhos, de carinho, de cuidados, de apoio, de confiança, de valores morais e éticos. E, sobretudo, obrigado pelo imensurável amor de vocês comigo, pois se sou o que sou, se cheguei até onde cheguei, e até aonde poderei ir, eu devo ao amor que nunca me foi negado por vocês. **Matosão e Dadá**, amo muito vocês!

À **Danielle e à Lorena**, minhas lindas e queridas irmãs, que sempre acreditaram em mim e me alegram a alma. Amo muito vocês, **Dani e Lô!**

Aos meus lindos e muito queridos sobrinhos **Pablo, Davi e Isabela**, e minha linda afilhada **Pietra**. Simplesmente porque vocês me fazem muito feliz e me fazem sentir muito importante na vida de vocês.

Ao meu filhote **Gabriel** que, em fevereiro deste ano de 2014, completa seu primeiro ano de idade. Gabriel, tu és dádiva divina em minha vida e maravilha indescritível. Por ti o meu tudo. Rezo para que cresças homem de honra, sábio, saudável e temente a Deus.

Aos **meus professores do ensino fundamental e médio (Colégio Santa Rosa) e do ensino superior (Universidade Federal do Pará)**, que me ensinaram não apenas as “lições de sala de aula”, mas que também contribuíram para minha formação moral e cívica. Tenham certeza que cada um dos senhores fez frutificar, em mim, a busca pelo conhecimento científico em benefício dos nossos semelhantes! Cada um de vocês é um tijolo na construção da minha inteligência e do meu ser.

À professora **Gessy Brandão** e às **professoras da escola de inglês Gessy's Course**, os meus sinceros e eternos agradecimentos. Pois, o meu conhecimento de base sobre a Língua Inglesa (escrita, falada e compreendida) é devido à qualidade do ensino daquela escola, em especial no período em que por lá passei de 1989 a 1995. Querida professora **Gessy Brandão**, a senhora me deu inestimável legado linguístico.

Ao meu professor e amigo **João Florentino da Gama Brito**, que me ensinou, na prática, o significado de “fidelidade para com o verdadeiro caminho da razão” e de “criar o intuito de esforço” do *Dojo Kun* – a aplicação do caratê à vida cotidiana. *Shihan*, OSS!

Ao tio **Manoel Pedro Cardoso** (médico legista) e ao meu professor de graduação **César Augusto Teixeira de Oliveira** (cirurgião-dentista), por terem me apresentado a Medicina Legal e a Odontologia Legal.

Agradeço à Delegada de Polícia Civil **Luciana Machado Kulay**, que à época do início do meu mestrado era a Delegada-Geral Adjunta da Polícia Civil de Roraima. Obrigado pela compreensão da importância do mestrado em Odontologia Legal para minha atividade-fim no IML-RR!

Agradeço muito à **Maisa Daruge**, que sendo esposa do grande Eduardo Daruge Junior, adotou-me como amigo-filho! Que na minha distância geográfica, entre Roraima e São Paulo, resolvia meus problemas em Piracicaba, juntamente com o Tico. Guardarei esse forte sentimento de amizade e presteza para sempre.

Agradecimento especial para meus amigos “desunidos” **Silas Henrique Rabelo de Lima** e **Eduardo de Novaes Benedicto**, que conheci em Piracicaba! Vocês dois não foram apenas meus colegas no mestrado, foram e são muito mais que isso; foram verdadeiros amigos, nos momentos de alegria e nos de tristeza também. Com vocês ri intensamente, com vocês vivi intensamente, em momentos saudosos e indeléveis. Eu não tenho palavras para dizer o quanto eu adoro vocês dois, meus irmãos. Contem sempre comigo!

À **Queila e Daria Luíza** (familiares de Silas Henrique) e ao **Valdimir, Teresa e Marina** (familiares do Eduardo Benedicto), agradeço por cada momento com vocês, pela receptividade, por tudo que fizeram por mim e pela nossa doce amizade! Valdimir, agradeço também, imensamente e de coração, por você ter me levado até a CBC, em Ribeirão Pires, e por ter me esperado, pacientemente, naquele mesmo dia!

Ao meu amigão de longa data, **Leonardo Soriano de Mello Santos – o Leozão**. Parceiro e amigo desde quando éramos acadêmicos de Odontologia. Obrigado por tudo que você me ajudou na FOP-UNICAMP! Com certeza seu apoio abriu-me portas para oportunidades na pós-graduação! Conte sempre comigo, meu irmão!

Ao estimado amigo e futuro mestre **Rafael “Pedreiro” Araújo**, garoto de boa índole, abençoado por Deus. Muito obrigado por dividir teu cantinho quando Silas e Eduardo já tinham concluído a etapa deles no mestrado, por resolver alguns problemas meus quando eu não estava em Piracicaba, pelos momentos que rimos juntos e por tudo o que você fez por mim! Sempre conte comigo!

Agradecimento especial para minha amiga-irmã **Marcela Campelo Pereira**, que fez meus plantões no Hospital Geral de Roraima e no IML-RR, que sempre me incentivou na caminhada do mestrado, pelos conselhos e pela amizade incondicional. A você, Marcela, minha gratidão eterna! Agradeço ao seu marido e meu grande amigo **Leandro Ferreira Lopes**, pelo apoio e força que me deu neste tempo.

Ao meu amigo **Luís Eduardo Lopes Albuquerque**, que sempre me ajudou nas minhas atividades a frente de duas gestões que presidi, no CRO-RR (2010/2012 e 2012/2014). Eduardo, meu amigo e guru, sem sua força, ajuda e incentivo, as minhas dificuldades teriam sido maiores! Obrigado por sempre ter caminhado ao meu lado, dando conselhos e dividindo experiências!

Aos meus amigos **Rachel Tinoco, Marília de Oliveira Coelho Dutra Leal, Gilberto Paiva de Carvalho, Mário Marques Fernandes e Sarah Teixeira Costa**, pelo incentivo durante o meu curso de mestrado, pela troca de ideias e de conhecimentos sobre Odontologia Legal e pela amizade.

Ao meu amigo Perito Criminal **Reginaldo Carvalho**, Diretor do Instituto de Criminalística de Roraima, pela colaboração com conhecimentos em balística forense.

Ao senhor **Ivan Moraes Gasparotti** e à Companhia Brasileira de Cartuchos, agradeço imensamente, pois me repassaram informações fundamentais para a realização da minha pesquisa em balística forense e porque acreditaram na minha pessoa.

Aos meus colegas de mestrado da área de Odontologia Legal **Marcelo “Mineiro” Machado, Bruna Rondon, Fábio Delwing (“o homem do índice”), Rafael “Pedreiro” Araújo, Marcos Paulo Salles Machado, Geraldo Elias Miranda e Márcia Simões**, pelo apoio e por dividirem conhecimentos comigo, durante o meu tempo no mestrado.

Aos meus caríssimos **Ana Cláudia Rossi e Alexandre Rodrigues Freire**, do departamento de morfologia da FOP-UNICAMP, agradeço de coração pelos ensinamentos, pela presteza, pela paciência, pela cordialidade e pela amizade. Que Deus continue abençoando a inteligência e a vida de vocês! Vocês dois foram fundamentais no meu trabalho!

Agradeço à **Aline Dias Mori Sampaio** por toda a inestimável ajuda, pelo estímulo e por tudo o que fez por mim, desde a qualificação até reta final do mestrado, para que eu fizesse, com tranquilidade, esta dissertação.

Aos **periciandos e seus familiares** que serviram de fonte de informação e de formação, no meu curso de mestrado em Odontologia Legal.

À equipe técnica da **Coordenadoria de Pós-Graduação da FOP-UNICAMP: Érica Pinho Sinhoreti, Priscilla Zuzi Boldrin, Raquel Marcondes Cesar, Roberta Clares Morales dos Santos e Ana Paula Carone**.

À **Célia Regina Manesco (Celinha)**, na pessoa da qual agradeço também a todos os funcionários da FOP-UNICAMP, pois figuram como trabalhadores da base de apoio e de logística para o adequado funcionamento da Faculdade.

Quero agradecer a todos os meus amigos, meus colegas e demais pessoas que colaboraram direta ou indiretamente na minha caminhada do Mestrado em Biologia Bucodental (área de Odontologia Legal e Deontologia).

Por fim, **agradeço a você leitor**, que é a razão máxima a que se destina esta dissertação.

“Gratidão é dívida que não prescreve.” (Autor desconhecido)

EPÍGRAFE

“Um crime não é esclarecido pelo poder da polícia, mas pelo poder da metodologia científica.”

Domingos Tocchetto

INTRODUÇÃO

O exame pericial tanatológico é realizado para diagnosticar a causa mortis de um indivíduo que tenha sofrido morte acidental, suspeita ou violenta (Mohd Nor e Das, 2012, Soumah et al., 2012, Wilson et al., 2011).

Há uma diversidade de agentes lesivos que podem provocar alterações orgânicas, que culminam na cessação da vida humana, quer sejam agentes mecânicos, físicos, químicos, biológicos ou mesmo estes de forma mista. Dentre os agentes de ordem mecânica, destacam-se os projéteis de arma de fogo que produzem feridas perfuro-contusas (Wilson et al., 2011, Solarino et al., 2007).

As armas de fogo portáteis podem ser classificadas como armas de fogo curtas e armas de fogo longas, sendo que a importância do estudo das armas de fogo curtas está diretamente relacionada com o fato de serem estas as mais usadas tanto para a defesa pessoal como para cometer crimes (Tocchetto, 2011).

A verificação de dados relativos à sede de lesões em feridos examinados no Instituto Oscar Freire, no Estado de São Paulo, em termos quantitativos, aponta para o seguinte: cabeça (40,7%); pescoço (7,0%); tórax (12,6%); abdome (9,6%); região genital (0,2%); membros superiores (segmentos superiores e mão, respectivamente, 12,82 e 10,48%); membros inferiores (6,6%) (Arbenz, 1988).

Na década de 1990, ocorreu no Brasil um total de 1.108.422 mortes por causas externas, sendo os homicídios os responsáveis por 33,3% (n=369.068) dessas mortes. Os homicídios com armas de fogo, em 1991, superavam 50% dos homicídios ocorridos no Brasil e ao final daquela década, no ano 2000, houve aumento da contribuição das armas de fogo para as mortes por homicídio, o que representou mais de 60% na população brasileira, de homicídios por arma de fogo (Peres e dos Santos, 2005). Outro estudo, também no Brasil, apontou que nos homicídios a sobremortalidade masculina foi maior que a encontrada entre os outros tipos de causas externas, onde a razão masculino/feminino foi de 8,2. Entre essas mortes, 63,5% foram perpetradas por arma de fogo (Gawryszewski et al.,

2004). Não muito diferente, entre 1993 e 1997, nos Estados Unidos, as feridas por arma de fogo foram as causas mais comuns de casos de homicídios e de suicídios (Control, 2000).

O estudo acerca das feridas causadas por projéteis de arma de fogo é importante tópico das Ciências da Saúde, com finalidades de subsidiar o aprimoramento de técnicas cirúrgicas para tratamento ou reparação de traumas balísticos (Doctor e Farwell, 2007, Hauer et al., 2011, Labbe et al., 2009), a confecção e avaliação de equipamentos de segurança pessoal tais como capacetes e coletes balísticos (Champion et al., 2010, Shen et al., 2010), além de subsidiar as Ciências Forenses para elucidar ocorrências em que tenham havido disparos com armas de fogo com ou sem vítimas fatais (Solarino et al., 2007, Berens et al., 2011, Nikolic et al., 2012, Quatrehomme e Iscan, 1998).

A aparência de uma ferida por arma de fogo não indica apenas a direção e a trajetória do projétil, mas também o tipo de munição e de arma usadas e a distância do tiro da arma de fogo. Além disso, pode auxiliar a avaliar se o modo da ferida ou da morte por arma de fogo foi acidental, homicida ou suicida (Mahoney et al., 2005).

Alguns autores têm buscado correlacionar, através de estudos quantitativos e qualitativos (Quatrehomme e Iscan, 1998, Quatrehomme e Iscan, 1999, Thali et al., 2002a, Thali et al., 2002b) e de análises computacionais (Mota et al., 2003, Pintar et al., 2001, Raul et al., 2007, Tang et al., 2012), diferentes formatos de feridas por armas fogo na região cefálica com os tipos de projéteis mais comuns de armas curtas.

As feridas provocadas por projéteis de arma de fogo podem assumir formatos variáveis, em função da diversidade que guardam as munições com relação à forma e massa do projétil, velocidade, distância e ângulo de entrada do projétil, sendo que poucos estudos balísticos estabeleceram modelos de análise das feridas por arma de fogo e o desempenho biomecânico pela análise de elementos finitos (Tang et al., 2012).

Com o advento científico do método dos elementos finitos, possibilitou-se realizar estudos dinâmicos e aplicá-los, por exemplo, para o desenvolvimento da engenharia automobilística (Bisagni et al., 2005) e aeronáutica (Smojver e Ivancevic, 2010), para fins

militares (Sands et al., 2009) e da medicina (Zhao et al., 2013), para compreensão da biomecânica em áreas como a ortodontia (Geiger, 2013, Sarmah et al., 2011) e a implantodontia (Caglar et al., 2010, Ormianer et al., 2012), servindo inclusive como uma nova ferramenta no auxílio para as Ciências Forenses (Li et al., 2010).

Sobre estudos balísticos reproduzindo efeitos em crânio humano pelo método de elementos finitos (EF), ainda há escassez de publicações científicas que analisem, por meio dessa ferramenta computacional, o estudo comparativo das morfologias de lesões ósseas produzidas pela ação dinâmica de projéteis de arma de fogo (Raul et al., 2007, Tang et al., 2012).

O presente trabalho objetiva comparar as morfologias dos orifícios de entrada causados por projéteis de arma de fogo, em osso frontal humano, obtidos em três simulações dinâmicas de disparos de projéteis (calibre .40 Smith & Wesson-S&W, 9x19 mm Luger e calibre .380), por meio de análise de elementos finitos.

CAPÍTULO 1: Comparison of gunshot entrance morphologies caused by .40-caliber Smith & Wesson, .380-caliber, and 9-mm Luger bullets: a finite element analysis study*

Autores: MATOSO RI¹, FREIRE AR², SANTOS LSM², PRADO FB².

¹ Department of Forensic Dentistry, Piracicaba Dental School, State University of Campinas – UNICAMP, Piracicaba, SP, Brazil.

² Department of Morphology, Anatomy Area, Piracicaba Dental School, State University of Campinas – UNICAMP, Piracicaba, SP, Brazil.

***Artigo submetido ao periódico:** PLOS ONE – eISSN-1932-6203 (Anexos 1 e 2).

Data da submissão: 11/01/2014.

Data de ressubmissão: 22/02/2014. (pós-correções sugeridas pela banca e pós-revisão gramatical e textual por *BioScience Writers – professional scientific editing service*)

Esta dissertação está baseada na Informação CCPG UNICAMP-002/2013 que regulamenta o formato alternativo para dissertações de Mestrado e teses de Doutorado e permite a inserção de artigos científicos de autoria ou coautoria do candidato.

ABSTRACT

Firearms can cause fatal wounds, which can be identified by traces on or around the body. However, there are cases where neither the bullet nor gun is found at the crime scene. Ballistic research involving finite element models can reproduce computational biomechanical conditions, without compromising bioethics, as they involve no direct tests on animals or humans. This study aims to compare the morphologies of gunshot entrance holes caused by .40-caliber Smith & Wesson (S&W), .380-caliber, and 9×19-mm Luger bullets. A fully metal-jacketed .40 S&W projectile, a fully metal-jacketed .380 projectile, and a fully metal-jacketed 9×19-mm Luger projectile were computationally fired at the glabellar region of the finite element model from a distance of 10 cm, at perpendicular incidence. The results show different morphologies in the entrance holes produced by the three bullets, using the same skull at the same shot distance. The results and traits of the entrance holes are discussed. Finite element models allow feasible computational ballistic research, which may be useful to forensic experts when comparing and analyzing data related to gunshot wounds in the forehead.

Keywords: Gunshot wounds, Finite element analysis, Forensic ballistics, Biomechanics, Forensic medicine, Forensic dentistry, Forensic sciences.

INTRODUCTION

Cadaver examination is performed to uncover the cause of death of an individual who has suffered accidental, suspicious, or violent death [1-3]. In this context, there are a variety of damaging agents that can cause organic changes that culminate in the cessation of human life, including mechanical, physical, chemical, and biological agents, and even those in mixed form. Among mechanical agents, firearm bullets are highlighted, as they are able to produce very harmful and lethal injuries [3, 4].

Portable firearms can be classified as short and long, and the importance of the study of short firearms is directly related to the fact that these are the predominant type used both for self-defense and to commit crimes [5].

Data concerning the region of injury in victims of violence examined at the Institute Oscar Freire in São Paulo (São Paulo, Brazil), in quantitative terms, point to the following percentages: head (40.7%), neck (7.0%), chest (12.6%); abdomen (9.6%), genital region (0.2%), upper limb (hand and upper segments respectively 12.82 and 10.48%), lower limbs (6.6%) [6].

In the 1990s, in Brazil, a total of 1,108,422 deaths from external causes occurred, and homicide ranked first, accounting for 33.3% ($n = 369,068$) of these deaths. Homicides involving firearms in 1991 exceeded 50% of all homicides in Brazil and at the end of that decade, in the year 2000, there was an increase in the contribution of firearms to homicide deaths [7]. Another study, also in Brazil, pointed out that in cases of homicide, the proportion of male mortality was greater than that found among other types of external causes, with a male/female ratio of 8.2. Among these deaths, 63.5% were committed using

firearms [8]. Gunshot wounds were the most common causes of homicides and suicides, with no significant differences between 1993 and 1997 in the United States [9].

The study of wounds caused by firearm bullets is at the forefront of scientific research, in order to support the improvement of surgical techniques for the treatment or repair of ballistic trauma [10-12] and for the preparation and evaluation of personal safety equipment such as helmets and ballistic vests [13, 14], in addition to improving the forensic investigation of cases involving firearms, with or without fatalities [4, 15-17].

The appearance of a gunshot wound may not only indicate the bullet's direction and trajectory, but also the type of ammunition and weapon used and the range of gunfire. Additionally, it may assist with identifying the manner of gunshot injury or death, with respect to it being accidental, homicidal, or suicidal in nature [18].

Some authors have tried to correlate, through quantitative and qualitative studies [17, 19-21] and through computational analysis [22-25], different aspects of gunshot wounds in the head inflicted by the most common types of handgun bullets.

Wounds caused by firearm bullets can take varying shapes, due to the diversity of ammunition with respect to form and mass, speed, shooting distance, and angle of entry of the bullets, but few studies have established models for the ballistic analysis of gunshot wounds and biomechanical performance [25].

The scientific advent of finite element analysis has enabled the performance of dynamic studies and their applications in the automotive [26] and in the aircraft industries [27], for military [28] and medical purposes [29], for the investigation of the biomechanism

in areas such as orthodontics [30, 31], implantology [32, 33], and blunt injuries [34], and as a new tool to aid in the forensic sciences [35].

Research studies that utilize finite element analysis on ballistics issues to reproduce gunshot effects in the human skull remain sparse. Scientific studies are needed to address the validation of this computational tool in correlating the morphology of bone injuries produced by the dynamic action of firearm bullets [24, 25].

The present study aims to compare the morphologies of gunshot entrance wounds in human frontal bone obtained in three dynamic shooting simulations (.40-caliber Smith & Wesson-S&W, .380-caliber, and 9×19-mm Luger bullets), using finite element analysis.

MATERIALS AND METHODS

This study was approved by the Committee for Ethics of Research of the State University of Campinas (Protocol number CEP-FOP-UNICAMP-066/2012) (Anexo 3).

a. Bone surface acquisition

The authors used CT scan data from a human skull (GE HiSpeed NX/i CT scanner – General Electric, Denver, CO, USA), with a thickness of 0.25 mm, to obtain a three-dimensional (3D) surface of bone structures. The 3D skull surface was exported in stereolithographic (STL) format using the InVesalius 3.0b program (Center for Information Technology, CTI, Campinas, Brazil).

b. Construction of CAD geometry

The 3D CAD model of the human skull was built from the STL surface involving the upper third of the head and part of the middle third, in order to reproduce the frontal bone and its adjacent bones. This skull model, as well as the models of the three different types of ammunition (.40-caliber S&W, .380-caliber, and 9×19-mm Luger bullets), was constructed with freeform Non-Uniform Rational B-Splines (NURBS) surfaces by a reverse engineering method [35], using the 3D software Rhinoceros 5.0 (McNeel & Associates, USA).

These three different types of bullets were chosen based on their availability in Brazil: the 9×19-mm Luger is used by Brazilian military forces (Army, Navy, and Air Force) and federal police officers, the .40-caliber S&W is used by state military police officers and civil police officers, and the .380-caliber is permitted for use.

c. Finite element models

The models (skull and bullets) were imported into ANSYS v.14 software (ANSYS, Inc., USA) for mesh generation with tetrahedral elements, which was refined in the glabellar region (Figures 1A and 1B).

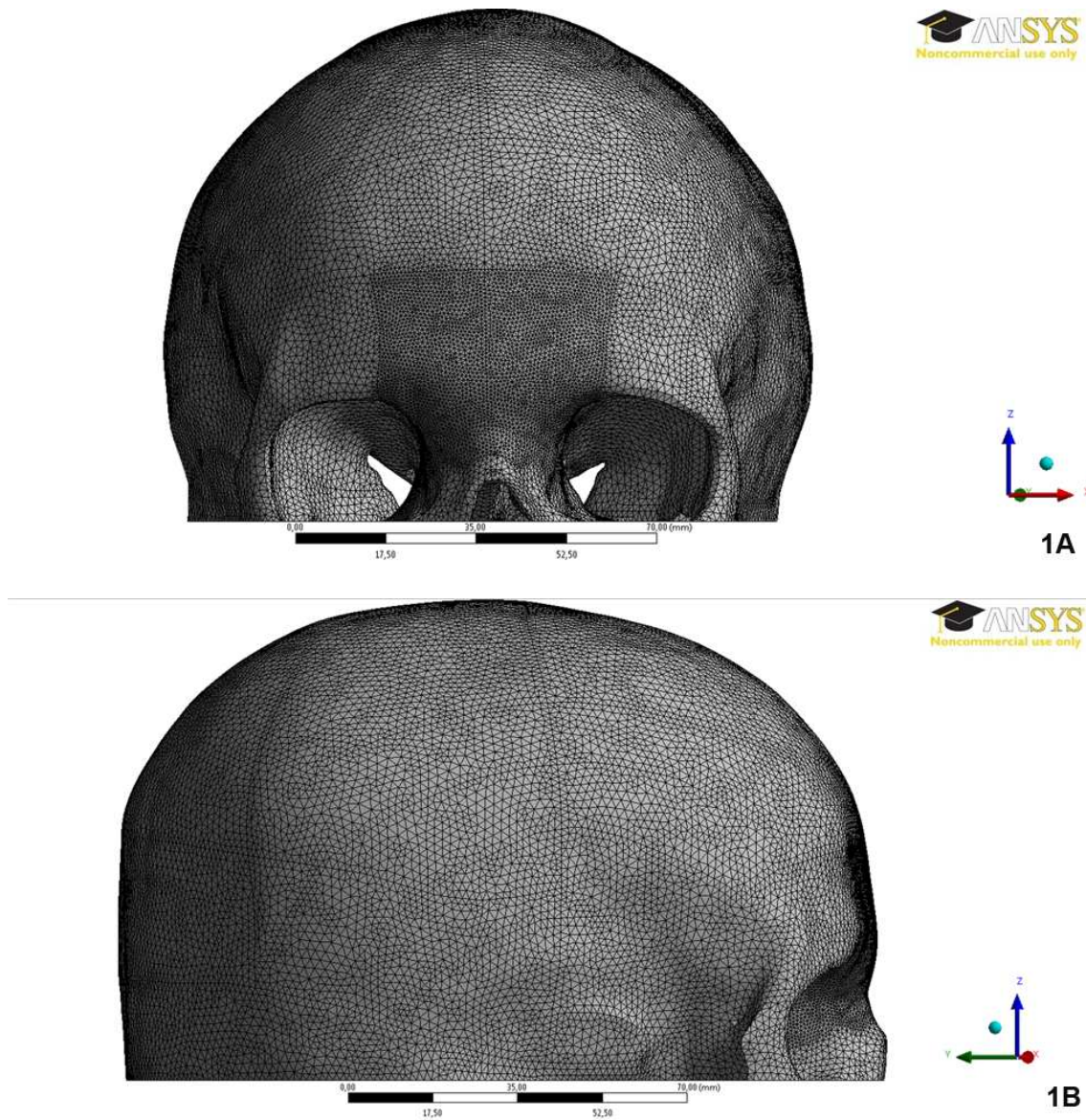


Fig. 1. (A) FE model meshed with small tetrahedral elements particularly in the glabellar region. (B) Right view of the 3D-FE model.

The final mesh consisting of the system skull/bullet for each analysis was composed of 540,055 elements and 116,052 nodes in the shooting simulation with the fully metal-jacketed flat-point (FMJ FP) .40-caliber S&W bullet; 514,912 elements and 110,939 nodes in the shooting simulation with the FMJ round-nosed (RN) .380-caliber bullet; and

525,672 elements and 112,961 nodes in the shooting simulation with the FMJ RN 9×19-mm Luger bullet.

d. Analysis configuration

An explicit dynamics analysis was performed using Ansys v14 AUTODYN solver (Ansys, Inc.) for each shooting simulation with bullets of different calibers. The mechanical properties of bone structures were simplified based on a previous study involving craniomandibular mechanics in humans, in which the authors focused on the importance of the morphological performance of the human skull in response to mechanical stimuli [36]. Furthermore, the stress values in this shooting simulation were considered for comparison, due to the importance of the difference in caliber and the morphological characteristics of the aperture caused by bullet penetration. The mechanical properties of each material present in the bullets were selected according to the ANSYS database. The material failure properties of the bone structure were obtained from the database of MatWeb, LLC [37]. The mechanical properties of the finite element models (skull, .380-caliber bullet, 9×19-mm Luger bullet, and .40-caliber S&W bullet) are shown in Table 1.

Table 1. Properties of the materials used in the finite element models.

Properties	Human bone ^a	FMJ RN .380 bullet		FMJ FP .40 S&W bullet		FMJ RN 9mm Luger bullet	
		Jacket Cu ^b	Core Pb (99%) / Sb (1%) ^c	Jacket Cu ^b	Core Pb (99%) / Sb (1%) ^c	Jacket Cu ^b	Core Pb (99%) / Sb (1%) ^c
Young's modulus (GPa)	14	115	14	115	14	115	14
Poisson's ratio	0.3	0.3	0.38	0.3	0.38	0.3	0.38
Shear modulus (GPa)	5.3846	46	8.6	46	8.6	46	8.6
Bulk modulus (GPa)	11.667	129	-	129	-	129	-
Density (Kg/m ³)	1850	8960	11340	8960	11340	8960	11340
Specific heat (J/Kg.°C)	440	383	124	383	124	383	124

a. Wroe et al [36]

b. Copper (Cu) alloy UNS C23000 [37]

c. 99% Lead (Pb) / 1% Antimony (Sb) alloy UNS L52605 [37]

d. Copper (Cu) alloy UNS C22000 [37]

For boundary conditions, displacement restrictions were applied along the three axes (x, y, z) in the lower plane section. The loading conditions were set in accordance with dynamic explicit analysis, involving the initial speed, the effect of gravity, and constraint conditions.

e. Conditions of velocity, mass, energy and shape of the bullets

The muzzle velocity conditions, mass, kinetic energy and the shape of the three bullets were selected according to data provided by a Brazilian manufacturer of weapons

and ammunition (*Companhia Brasileira de Cartuchos, CBC*, Ribeirão Pires, Brazil), as seen in Table 2.

Table 2. Muzzle velocity, mass, energy and shape of each bullet in the computational simulation.

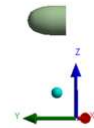
Bullets	Shape	Velocity (m/s)*	Mass (g)**	Energy (J)***
FMJ RN .380	Round nose	288	6.16	± 256
FMJ FP .40 S&W	Flat point	300	11.66	± 524
FMJ RN 9×19mm	Round nose	343	7.45	± 440
Luger				

*Meter/second; ** gram; ***Joule.

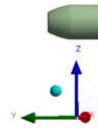
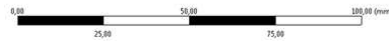
f. Conditions of angles and distance

The angle of incidence set in the present study was a perpendicular angle formed between the long axis of the bullet and the glabella. The 3D-FE model of the skull was arranged considering the anatomical position. The shot trajectory was considered parallel to the ground for each dynamic simulation.

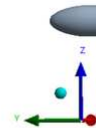
The effects caused by air resistance were discarded due to the condition of very short-range shooting, which was set at 10 centimeters (cm) distant from the target (glabella). Theoretically, the distance of 10 cm corresponds to the virtual space between the handgun barrel of the three calibers (.380, .40 S&W, and 9×19-mm Luger) and the forehead of the 3D-FE model (Figures 2A, 2B, and 2C).



2A



2B



2C

Fig. 2. Right view of the firing distance at 10 cm: (A) .380-caliber bullet; (B) .40-caliber S&W bullet; (C) 9x19-mm Luger bullet.

g. Data analysis

Data were processed with the ANSYS AUTODYN solver, using a computer equipped with Intel® Core™ i7-3770, 3.40 GHz, 32 GB RAM and NVIDIA Quadro 4000 video card, 1 GB.

Results were analyzed with respect to two aspects: the external morphology of the entrance holes in the frontal bone of the 3D-FE model and the equivalent von Mises stress distributed around each ballistic impact area.

RESULTS

In the present study, the skull model presented different wound geometry patterns.

a. Wound patterns

The data from the three computational gunshot wounds are listed in Table 3.

Table 3. External shape (morphology) seen after each shooting simulation.

Bullets	Wound type	Location	Shape (external)
FMJ RN .380	Entry	Glabella	Triangle, irregular
FMJ FP .40 S&W	Entry	Glabella	Round, irregular
FMJ RN 9×19mm Luger	Entry	Glabella	Triangle, irregular

Figures 3A, 3B, and 3C show the moment of bullet penetration in the glabellar region.

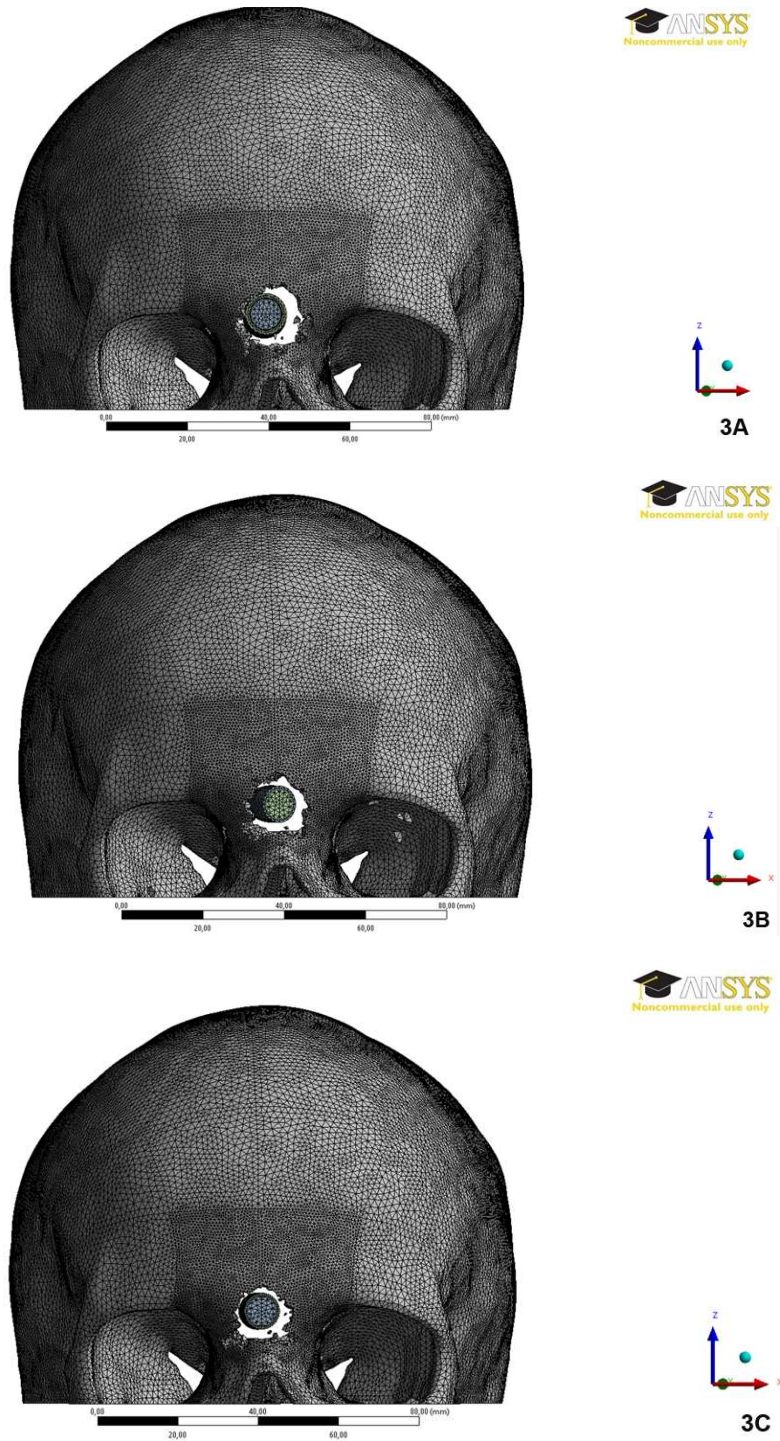


Fig. 3. Simulated gunshot with: (A) .40-caliber S&W bullet; (B) 9×19-mm Luger bullet; (C) .380-caliber bullet.

Figures 4A, 4B, and 4C show the morphologies of the entrance holes caused by the three computational gunshots. The entrance hole morphology seen in Figure 4A resembles a round wound, while the one seen in Figure 4C resembles a triangular wound. Figure 4B shows an intermediate shape between a round (Fig. 4A) and triangular wound (Fig. 4C).

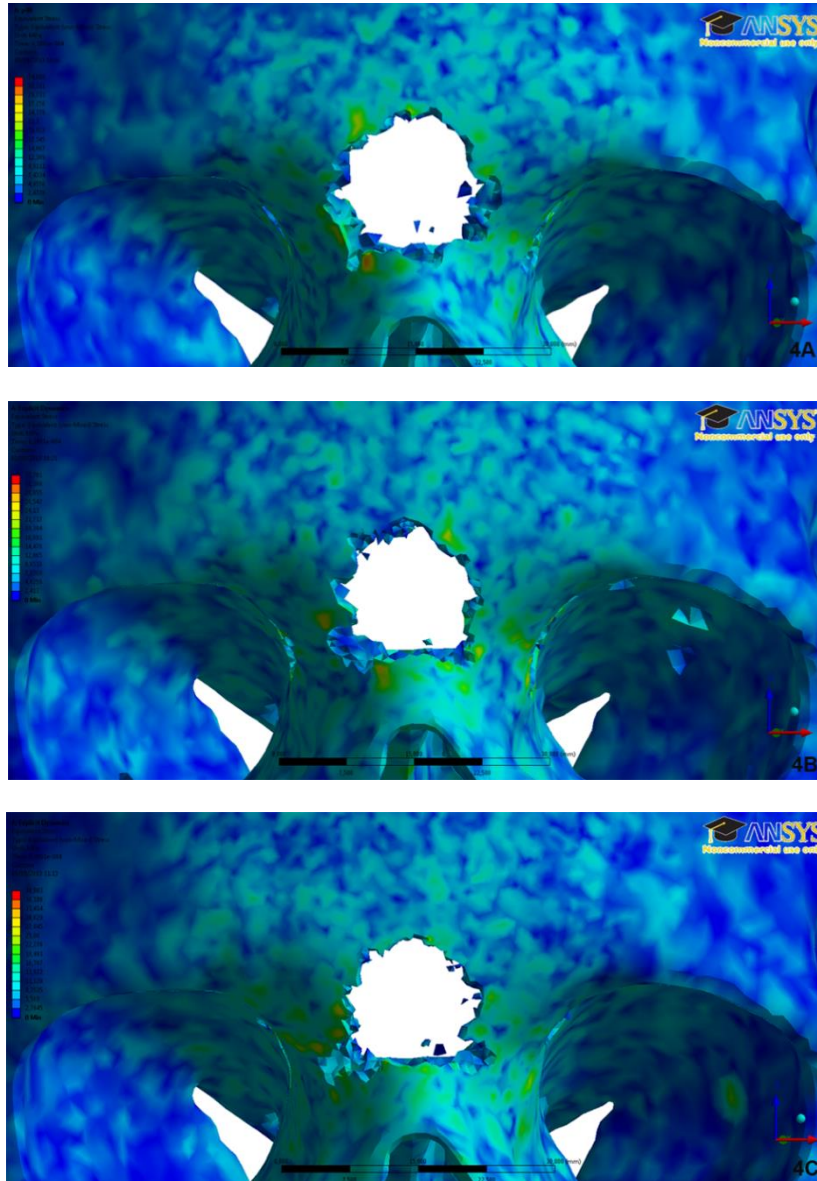


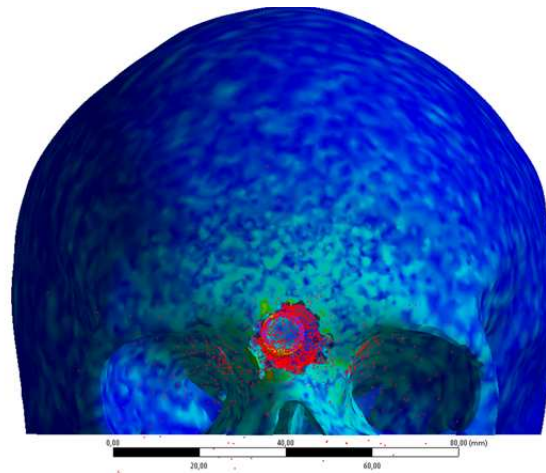
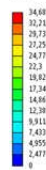
Fig. 4. (A) Irregular round entrance hole (FMJ FP .40 S&W); (B) Irregular triangular entrance hole (FMJ RN 9×19-mm Luger); (C) Irregular triangular entrance hole (FMJ RN .380). Note that the wound seen in B exhibits an intermediate shape between those seen in A and C.

b. von Mises stress concerning each shot simulation

The von Mises stress criterion is defined as stress caused by energy flow along a material that is receiving a load [38]. The stress distributes through the material, causing distortion until a critical resistance condition is reached, thereby causing failure. In this study, the energy flow resulted from critical stresses caused by each bullet impact, and the consequent failure occurred in some regions of the skull model (e.g., glabellar region and orbital roofs).

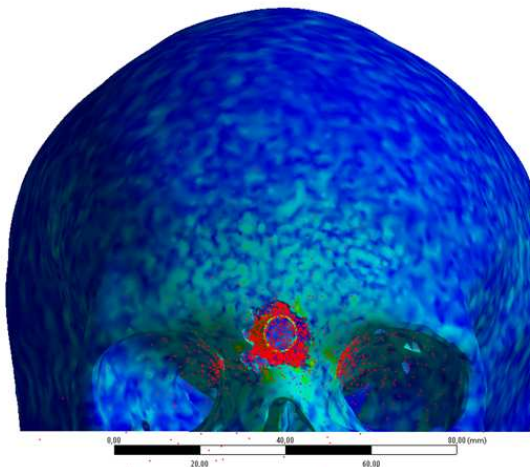
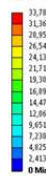
von Mises stress is presented in Figures 5A, 5B, and 5C, where the scale for the stress runs from the minimum stress value (blue) to the maximum stress value (red). This information (see Table 4) is quite important in order to analyze and understand how the transferred energy of the bullet dynamically behaves within the gunshot injury. The floating red images correspond to those elements and nodes in which the effective stress was sufficient to cause complete failure in the connections of the mesh. The failure in the connections was seen where the bullet directly hit (glabellar region) and where the transferred energy was indirectly most affected (orbital roofs).

A: p-80
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Units: MPa
 Time: 6.1881e-004
 Custom
 Min: 129.2
 Max: 0



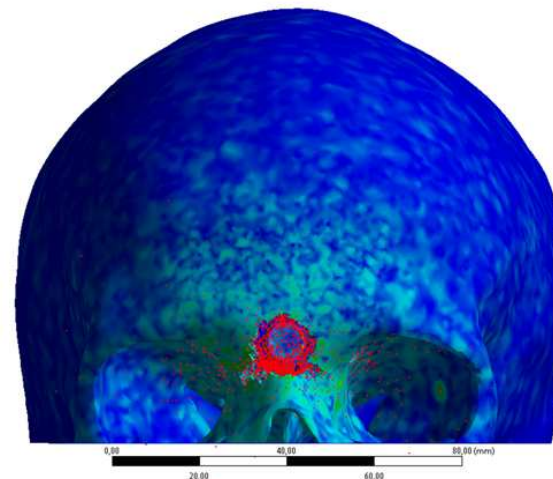
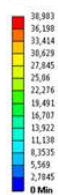
5A

A: Explicit Dynamics
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Units: MPa
 Time: 6.1881e-004
 Custom
 Min: 82.098/2913 18.17



5B

A: Explicit Dynamics
 Equivalent Stress
 Type: Equivalent (von-Mises) Stress
 Units: MPa
 Time: 6.1881e-004
 Custom



5C

Fig. 5. von Mises stress values in the glabellar region for each shot. (A) FMJ FP .40 S&W; (B) FMJ RN 9×19-mm Luger; (C) FMJ RN .380.

Table 4. Values of von Mises stress (MPa) for each shooting simulation.

Bullets	Dark blue (min)*	Green	Yellow	Red (max)**
FMJ FP .40 S&W	0–2,4778	14,867–17,345	24,778–27,256	32,211–34,689
FMJ RN 9×19mm Luger	0–2,413	14,478–16,891	24,13–26,542	31,368–33,781
FMJ RN .380	0–2,7845	16,707–19,491	27,845–30,629	36,198–38,983

*Minimum; ** Maximum.

c. Indirect gunshot wounds caused by stress distribution

From the initial impact, additional wounds were observed. Figures 6A, 6B, and 6C show von Mises stress distribution and wounds in the orbital roof of both sides after each shooting simulation; these are considered indirect effects.

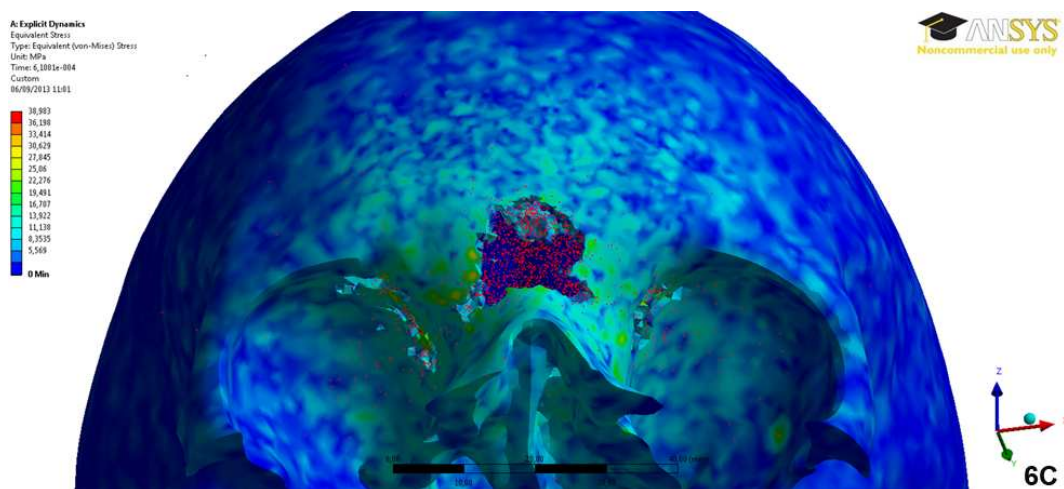
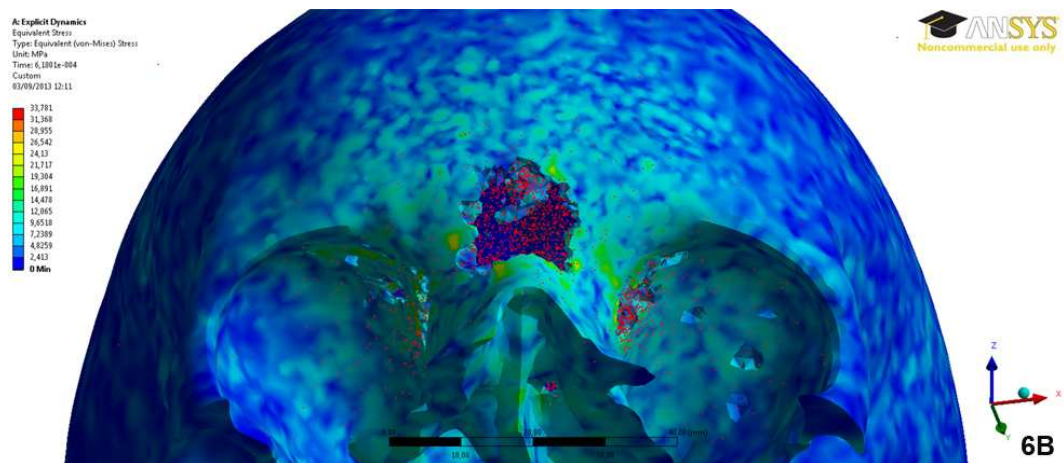
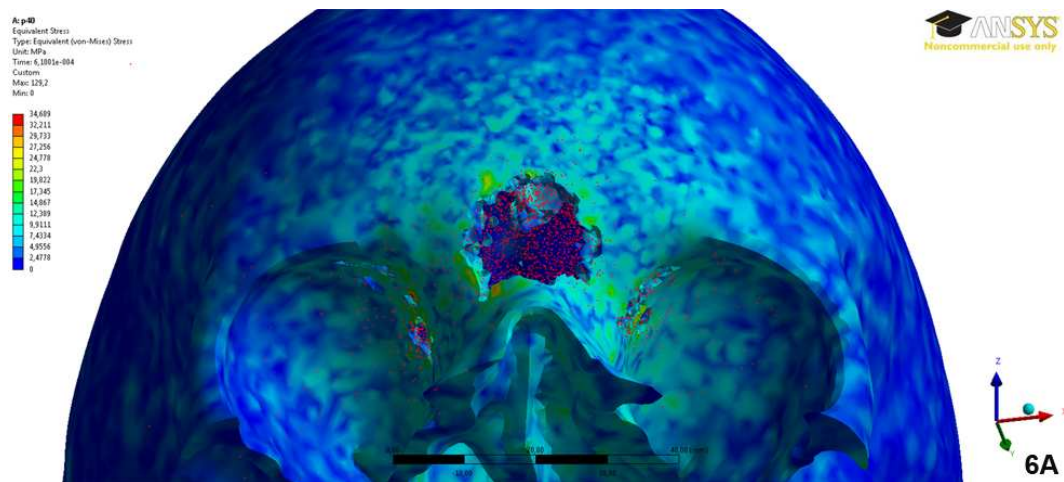


Fig. 6. von Mises stress distribution and wounds in both orbital roofs of the skull model after each shooting simulation (A) FMJ FP .40 S&W; (B) FMJ RN 9×19-mm Luger; (C) FMJ RN .380.

DISCUSSION

The authors are certain that several fatal or non-fatal gunshot injuries are daily examined by forensic experts around the world, but few studies have considered the characteristics of gunshot wounds in human head with regard to their medico-legal aspects [17, 24, 39-43]. Human head models are mainly used for car crash evaluations and are not commonly used in forensic sciences [24].

The mechanism by which bullets injure living tissues has been extensively studied in animal models, human cadavers, and synthetic materials. However, these models are expensive and time-consuming, and whether these models represent situations within a living human body penetrated by bullets remains controversial [44, 45].

It is evident that the use of animals or human cadavers for experimental research has many limitations with regard to ethical and moral aspects [44, 46]. Moreover, once a ballistics experiment is carried out in animals or cadavers, it cannot, naturally, be reproduced in the same anatomical region in a subsequent trial to analyze other conditions.

Finite-element models of the skull are quite useful to reproduce and analyze different ways of injuring human bones, independent of the mechanical force applied. The interaction and behavior of damaging agents to the human head can be understood and the amount of energy or force measured using finite element analysis.

The results of dynamic simulations using finite element models may correlate with the degrees and patterns of biological tissue injury [44].

In the present study, the authors used the same finite element model of the human skull for computational simulations of gunshots with three different bullets. The glabellar region was the one chosen to be the area of ballistic impact. The tested skull model had frontal sinus, according to the CT-images, which was reproduced in the finite element mesh. Based on this information, the impacting zone had only the cortical bone (outer) and frontal sinus-cortical bone (inner). The orbital roofs had only a thin bone layer.

The authors compared the external morphology of the entrance gunshot wounds caused by three bullets of different calibers, and the computational results showed different traits. The FMJ FP .40-caliber S&W bullet caused an irregular round wound, the FMJ RN 9×19-mm Luger bullet caused an irregular triangular wound, and the FMJ RN .380-caliber bullet caused an irregular triangular wound. As seen in Figure 4B, the entrance hole shows an intermediate shape between 4A and 4C. Considering that the simulations used the same FE skull model set at the same conditions (firing distance, axes, and directions), the different wound morphologies might be related to the kinetic energy of each bullet.

The kinetic energy information provided by the manufacturer (*CBC*, Ribeirão Pires, Brazil) (Table 2) indicated that the .40 caliber S&W bullet presented higher energy than the other two bullets (9×19-mm Luger and .380-caliber). This may explain why the rounded shape was more regular than the triangular shape caused by the 9-mm and .380-caliber shots (Figures 4A, 4B, and 4C). Additionally, the shapes of the bullets and the anatomy of the assessed frontal bone corresponded to the different gunshot entrance morphologies.

Table 4 shows the values of von Mises stress (MPa) of each simulated shot. According to these data, the bone tissue of the impacted area produced more resistance against the FMJ RN .380 bullet than against the FMJ FP .40 S&W and FMJ RN 9×19-mm Luger bullets. By comparing von Mises stress values between the two FMJ RN bullets (.380-caliber and 9×19-mm Luger), the 9×19-mm Luger bullet was able to penetrate the impacted area with lower resistance from the bone tissue.

In the comparison of the two bullets with the highest kinetic energies (.40-caliber S&W and 9x19-mm Luger), the von Mises stress was higher when the FMJ FP .40 S&W bullet was shot than in the FMJ RN 9×19mm Luger bullet shooting simulation. This behavior may be associated with the difference in the shape of the nose of these two bullets: the .40-caliber S&W is a flat-point bullet and the 9x19-mm Luger is a round-nosed one. Because the flat-point surface of the FMJ FP .40 bullet is larger than the round-nosed surface of the FMJ RN 9×19-mm Luger bullet (see Figures 2B and 2C), the von Mises stress was higher in the simulated shot with the flat-point bullet.

In the present study, the authors did not consider soft tissues (outer skin, meninges, brain) during skull modeling, neither did they reproduce the bullet's gyroscopic properties (rotation, precession, and nutation), which may cause discrepancies between these results and real forensic data. Other finite element studies of gunshots did not consider those data either; however, they did provide useful information [22, 25, 44].

The gyroscopic properties of the simulated shots were not reproduced because the distance of 10 cm between each bullet and the target (glabella) was established as a short

distance. However, future studies may reproduce these properties, especially with respect to longer firing distances.

Berryman *et al* [43] state that before any determination of bullet caliber from a gunshot defect to bone can be determined, a number of factors must be considered. These factors include the large variety of calibers available, some of which are very close or identical in diameter. Furthermore, bullets vary in shape and surface treatment, causing some to deform and produce a larger wound. The loss of gyroscopic stability may result in a more irregular or larger defect. Intermediate targets can result in a defect that is larger (from tumbling or deformation) or smaller (from fragmentation) than the bullet caliber. Another factor is a tangential shot that results in an irregularly shaped defect with portions that may be larger than the caliber. Finally, bullets that pass through an existing fracture may leave a defect that is smaller than the caliber.

In conclusion, the present study proposed a finite element method to compare the results of three different gunshots using three different bullets at the same firing distance. The results showed different gunshot wound morphologies and their correlation to the amount of kinetic energy at the moment of impact, as expected in real shooting cases. The present study showed that the highest velocity bullet caused the rounded gunshot wound, while the lowest one caused an irregular triangular shaped wound. Finite element analysis is a practicable tool to be used in ballistics cases. However, further research is required to improve the methodology applied, in order to assist forensic experts in gunshot injury investigations.

Acknowledgments

The authors are grateful to Mr. Ivan Moraes Gasparotti (*Companhia Brasileira de Cartuchos, CBC*, Ribeirão Pires, SP, Brazil) and to the *CBC* for contributing technical information on the bullets used in this study. We would like to thank Mr. Valdimir Cavanilas Benedicto for his support throughout this study and for offering invaluable advice.

CONCLUSÃO

De acordo com esta análise de elementos finitos envolvendo simulações balísticas, é possível concluir:

- Foram perceptíveis as diferenças nas morfologias dos orifícios de entrada causados pelos três impactos balísticos simulados;

- As diferenças morfológicas dos orifícios de entrada guardam nexo de causa-e-efeito, em função das propriedades de cada projétil analisado, considerando as condições da metodologia aplicada;

- As diferenças observadas nas simulações computacionais, no presente estudo, precisam ser comparadas com ensaios experimentais, utilizando a metodologia aplicada, em modelos físicos de prototipagem de crânio humano;

- Ocorreram diferenças morfológicas dos orifícios balísticos e em função de suas correlações com a quantidade de energia cinética, no momento do impacto, o que é esperado em casos de tiros reais.

- O projétil de maior velocidade causou a ferida perfuro-contusa arredondada, enquanto que o menos veloz causou um orifício de formato irregularmente triangular.

- A análise de elementos finitos é uma ferramenta executável para ser utilizada em casos de balística. No entanto, novas pesquisas precisam ser realizadas para aprimorar a metodologia, a fim de auxiliar peritos forenses em investigações de lesões por projéteis de arma de fogo.

REFERÊNCIAS

1. Mohd Nor F, Das S (2012) Gunshot wound in skeletonised human remains with partial adipocere formation. *J Forensic Leg Med* 19: 42-45.
2. Soumah MM, Munyali DA, Ndiaye M, Sow ML (2012) Autopsy following death by homicide in 644 cases. *J Forensic Leg Med* 19: 60-64.
3. Wilson JL, Herbella FA, Takassi GF, Moreno DG, Tineli AC (2011) Fatal trauma injuries in a Brazilian big metropolis: a study of autopsies. *Revista do Colegio Brasileiro de Cirurgioes* 38: 122-126.
4. Solarino B, Nicoletti EM, Di Vella G (2007) Fatal firearm wounds: a retrospective study in Bari (Italy) between 1988 and 2003. *Forensic Sci Int* 168: 95-101.
5. Tocchetto D (2011) *Balística Forense – Aspectos Técnicos e Jurídicos*. Campinas: Millennium Editora Ltda. 432 p.
6. Arbenz GO (1988) *Medicina Legal e Antropologia Forense*. São Paulo: Livraria Atheneu. 562 p.
7. Peres MFT, dos Santos PC (2005) Trends of homicide death in Brazil in the 90s: the role of firearms. *Rev Saude Publ* 39: 58-66.
8. Gawryszewski VP, Koizumi MS, Mello-Jorge MH (2004) [Morbidity and mortality from external causes in Brazil, 2000]. *Cadernos de saude publica* 20: 995-1003.
9. Control CNCIP (2000) Nonfatal and fatal firearm-related injuries - United States, 1993-1997 (Reprinted from *MMWR*, vol 48, pg 1029, 1999). *Jama-J Am Med Assoc* 283: 47-48.
10. Doctor VS, Farwell DG (2007) Gunshot wounds to the head and neck. Current opinion in otolaryngology & head and neck surgery 15: 213-218.
11. Hauer T, Huschitt N, Kulla M, Kneubuehl B, Willy C (2011) [Bullet and shrapnel injuries in the face and neck regions. Current aspects of wound ballistics]. *Hno* 59: 752-764.
12. Labbe D, Nicolas J, Kaluzinski E, Soubeyrand E, Delcampe P, et al. (2009) Gunshot wounds: two cases of midface reconstruction by osteogenic distraction. *Journal of plastic, reconstructive & aesthetic surgery : JPRAS* 62: 1174-1180.

13. Champion HR, Holcomb JB, Lawnick MM, Kelliher T, Spott MA, et al. (2010) Improved Characterization of Combat Injury. *J Trauma* 68: 1139-1150.
14. Shen WX, Niu YQ, Bykanova L, Laurence P, Link N (2010) Characterizing the Interaction Among Bullet, Body Armor, and Human and Surrogate Targets. *J Biomech Eng-T Asme* 132.
15. Berens S, Ketterer T, Kneubuehl BP, Thali MJ, Ross S, et al. (2011) A case of homicidal intraoral gunshot and review of the literature. *Forensic science, medicine, and pathology* 7: 209-212.
16. Nikolic S, Zivkovic V, Babic D, Jukovic F (2012) Suicidal Single Gunshot Injury to the Head Differences in Site of Entrance Wound and Direction of the Bullet Path Between Right- and Left-Handed-An Autopsy Study. *Am J Foren Med Path* 33: 43-46.
17. Quatrehomme G, Iscan MY (1998) Gunshot wounds to the skull: Comparison of entries and exits. *Forensic Sci Int* 94: 141-146.
18. Mahoney PF, Ryan J, Brooks AJ, Schwab CW (2005) *Ballistic Trauma: A Practical Guide*. United States of America: Springer-Verlag London Limited. 662 p.
19. Quatrehomme G, Iscan MY (1999) Characteristics of gunshot wounds in the skull. *J Forensic Sci* 44: 568-576.
20. Thali MJ, Kneubuehl BP, Dirnhofer R (2002) A "skin-skull-brain model" for the biomechanical reconstruction of blunt forces to the human head. *Forensic Sci Int* 125: 195-200.
21. Thali MJ, Kneubuehl BP, Zollinger U, Dirnhofer R (2002) The "Skin-skull-brain model": a new instrument for the study of gunshot effects. *Forensic Sci Int* 125: 178-189.
22. Mota A, Klug WS, Ortiz M, Pandolfi A (2003) Finite-element simulation of firearm injury to the human cranium. *Comput Mech* 31: 115-121.
23. Pinter FA, Kumaresan S, Yoganandan N, Yang A, Stemper B, et al. (2001) Biomechanical modeling of penetrating traumatic head injuries: a finite element approach. *Biomedical sciences instrumentation* 37: 429-434.
24. Raul JS, Deck C, Meyer F, Geraut A, Willinger R, et al. (2007) A finite element model investigation of gunshot injury. *Int J Legal Med* 121: 143-146.

25. Tang Z, Tu W, Zhang G, Chen Y, Lei T, et al. (2012) Dynamic simulation and preliminary finite element analysis of gunshot wounds to the human mandible. *Injury* 43: 660-665.
26. Bisagni C, Pietro GD, Fraschini L, Terletti D (2005) Progressive crushing of fiber-reinforced composite structural components of a Formula One racing car. *Compos Struct* 68: 491-503.
27. Smojver I, Ivancevic D (2010) Numerical simulation of bird strike damage prediction in airplane flap structure. *Compos Struct* 92: 2016-20126.
28. Sands JM, Fountzoulas CG, Gilde GA, Patel PJ (2009) Modelling transparent ceramics to improve military armour. *Journal of the European Ceramic Society* 29: 261-266.
29. Zhao Y, Li Q, Mo Z, Sun Y, Fan Y (2013) Finite element analysis of cervical arthroplasty combined with fusion against 2-level fusion. *Journal of spinal disorders & techniques* 26: 347-350.
30. Geiger M (2013) Finite element-based force/moment-driven simulation of orthodontic tooth movement. *Computer methods in biomechanics and biomedical engineering* 16: 639-647.
31. Sarmah A, Mathur AK, Gupta V, Pai VS, Nandini S (2011) Finite element analysis of dental implant as orthodontic anchorage. *The journal of contemporary dental practice* 12: 259-264.
32. Caglar A, Bal BT, Aydin C, Yilmaz H, Ozkan S (2010) Evaluation of stresses occurring on three different zirconia dental implants: three-dimensional finite element analysis. *The International journal of oral & maxillofacial implants* 25: 95-103.
33. Ormianer Z, Ben Amar A, Duda M, Marku-Cohen S, Lewinstein I (2012) Stress and strain patterns of 1-piece and 2-piece implant systems in bone: a 3-dimensional finite element analysis. *Implant dentistry* 21: 39-45.
34. Shao Y, Zou D, Li Z, Wan L, Qin Z, et al. (2013) Blunt liver injury with intact ribs under impacts on the abdomen: a biomechanical investigation. *Plos One* 8: e52366.
35. Li ZD, Zou DH, Liu NG, Huang P, Chen YJ (2010) [The finite element modeling of human pelvis and its application in medicolegal expertise]. *Fa yi xue za zhi* 26: 406-412.

36. Wroe S, Ferrara TL, McHenry CR, Curnoe D, Chamoli U (2010) The craniomandibular mechanics of being human. *P Roy Soc B-Biol Sci* 277: 3579-3586.
37. MatWeb (2013) MatWeb - Material Property Data.
38. von Mises R (1913) Mechanik der festen Körper im plastisch deformablen Zustand. *Nachr Math Phys* 1: 582–592.
39. Quatrehomme G, Iscan MY (1997) Bevelling in exit gunshot wounds in bones. *Forensic Sci Int* 89: 93-101.
40. Pollak S, Rothschild MA (2004) Gunshot injuries as a topic of medicolegal research in the German-speaking countries from the beginning of the 20th century up to the present time. *Forensic Sci Int* 144: 201-210.
41. Thali MJ, Kneubuehl BP, Zollinger U, Dirnhofer R (2002) A study of the morphology of gunshot entrance wounds, in connection with their dynamic creation, utilizing the "skin-skull-brain model". *Forensic Sci Int* 125: 190-194.
42. Smith OC, Symes SA, Berryman HE, Levaughn MM (1993) Characteristic Features of Entrance Wounds from Hollow-Point Bullets. *J Forensic Sci* 38: 323-326.
43. Berryman HE, Smith OC, Symes SA (1995) Diameter of Cranial Gunshot Wounds as a Function of Bullet Caliber. *J Forensic Sci* 40: 751-754.
44. Chen Y, Miao Y, Xu C, Zhang G, Lei T, et al. (2010) Wound ballistics of the pig mandibular angle: a preliminary finite element analysis and experimental study. *J Biomech* 43: 1131-1137.
45. Cunningham LL, Haug RH, Ford J (2003) Firearm injuries to the maxillofacial region: an overview of current thoughts regarding demographics, pathophysiology, and management. *Journal of oral and maxillofacial surgery : official journal of the American Association of Oral and Maxillofacial Surgeons* 61: 932-942.
46. Raul JS, Deck C, Willinger R, Ludes B (2008) Finite-element models of the human head and their applications in forensic practice. *Int J Legal Med* 122: 359-366.



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA

ANEXO 1 – COMPROVANTE DE SUBMISSÃO DE ARTIGO *ONLINE* – PERIÓDICO PLOS ONE

Editorial Manager®

www.editorialmanager.com/pone/default.asp

PLOS ONE A Peer-Reviewed, Open Access Journal

em Editorial Manager®

HOME • LOGOUT • HELP • REGISTER • UPDATE MY INFORMATION • JOURNAL OVERVIEW
MAIN MENU • CONTACT US • SUBMIT A MANUSCRIPT • INSTRUCTIONS FOR AUTHORS

Role: Author Username: rimatoso@hotmail.com

Submissions Being Processed for Author Rodrigo Ivo Matoso, DDS

Page: 1 of 1 (1 total submissions) Display 10 results per page.

Action	Manuscript Number	Title	Initial Date Submitted	Current Status
Action Links	PONE-D-14-01530	Comparison of gunshot entrance morphologies caused by .40-caliber Smith & Wesson, .380-caliber, and 9-mm Luger bullets: a finite element analysis study	Feb 22 2014 8:07PM	Manuscript Submitted to Journal

Page: 1 of 1 (1 total submissions) Display 10 results per page.

<< Author Main Menu



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ODONTOLOGIA DE PIRACICABA

ANEXO 2 – CARTA DE SUBMISSÃO DO ARTIGO À PUBLICAÇÃO –
PERIÓDICO PLOS ONE



Stephanie Wheeler (stephanie.wheeler@editorialoffice.co.uk) [Adicionar aos contatos](#) 03/03/2014  [Ações](#) 

Para: rimatoso@hotmail.com 

PONE-D-14-01530

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

Dear Professor Matoso,

Thank you for re-submitting your paper to PLOS ONE. We have escalated your manuscript to an in-house editor requesting copy editing approval. As soon as we have an update, we will be in touch. We appreciate your patience in this matter.

Regards,

Stephanie Wheeler
PLOS ONE

ANEXO 3 – CERTIFICADO DO COMITÊ DE ÉTICA EM PESQUISA DA FOP-UNICAMP



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 pelo método dos elementos finitos de feridas por arma de fogo em crânio humano**", protocolo nº 066/2012, dos pesquisadores Rodrigo Ivo Matoso e Felipe Bevilacqua Prado, satisfaz as exigências do Conselho Nacional de Saúde - Ministério da Saúde para as pesquisas em seres humanos e foi aprovado por este comitê em 08/10/2012.

The Ethics Committee in Research of the School of Dentistry of Piracicaba - State University of Campinas, certify that the project "**Finite element analysis of gunshot wounds in human skull**", register number 066/2012, of Rodrigo Ivo Matoso and Felipe Bevilacqua Prado, 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 at 10/08/2012.


Profa. Dra. Livia Maria Andaló Tenuta
Secretária
CEP/FOP/UNICAMP


Prof. Dr. Jacks Jorge Junior
Coordenador
CEP/FOP/UNICAMP

Nota: O título do protocolo aparece como fornecido pelos pesquisadores, sem qualquer edição.
Notice: The title of the project appears as provided by the authors, without editing.