

Atendendo a solicitação do(a) autor(a),
o texto completo desta tese/dissertação
será disponibilizado somente a partir de
15/02/2024.

At the author's request, the full text of
this thesis/dissertation will not be
available until Feb 15, 2024.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de São José dos Campos
Instituto de Ciência e Tecnologia

TALITA SUELEN DE QUEIROZ

**COMPORTAMENTO DA ASSOCIAÇÃO ENTRE PROTETOR
BUCAL E MALHA DE REFORÇO EM POLIAMIDA NA
ABSORÇÃO DE IMPACTO EM REGIÃO ANTERIOR MAXILAR:
*análise in silico e in vitro***

2023

TALITA SUELEN DE QUEIROZ

**COMPORTAMENTO DA ASSOCIAÇÃO ENTRE PROTETOR BUCAL E MALHA
DE REFORÇO EM POLIAMIDA NA ABSORÇÃO DE IMPACTO EM REGIÃO
ANTERIOR MAXILAR: análise *in silico* e *in vitro***

Dissertação apresentada ao Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista (Unesp), Campus de São José dos Campos, como parte dos requisitos para obtenção do título de MESTRA, pelo Programa de Pós-Graduação em CIÊNCIAS APLICADAS À SAÚDE BUCAL.

Área: Prótese Dentária. Linha de pesquisa: Desenvolvimento de materiais e novas tecnologias em odontologia.

Orientador: Prof. Assoc. Tarcisio José de Arruda Paes Junior

Coorientador: Prof. Dr. João Paulo Mendes Tribst.

São José dos Campos

2023

Instituto de Ciência e Tecnologia [internet]. Normalização de tese e dissertação [acesso em 2023]. Disponível em <http://www.ict.unesp.br/biblioteca/normalizacao>

Apresentação gráfica e normalização de acordo com as normas estabelecidas pelo Serviço de Normalização de Documentos da Seção Técnica de Referência e Atendimento ao Usuário e Documentação (STRAUD).

Queiroz, Talita Suelen de

Comportamento da associação entre protetor bucal e malha de reforço em poliamida na absorção de impacto em região anterior maxilar: análise in silico e in vitro / Talita Suelen de Queiroz. - São José dos Campos : [s.n.], 2023.

87 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Pós-Graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos, 2023.

Orientador: Tarcísio José de Arruda Paes-junior

Coorientador: João Paulo Mendes Tribst

1. Protetor bucal. 2. Trauma dentário. 3. Malha de reforço. 4. Resposta biomecânica. I. Paes-junior, Tarcísio José de Arruda, orient. II. Tribst, João Paulo Mendes, coorient. III. Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia, São José dos Campos. IV. Universidade Estadual Paulista 'Júlio de Mesquita Filho' - Unesp. V. Universidade Estadual Paulista (Unesp). VI. Título.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Assoc. Tarcisio José de Arruda Paes Junior (Orientador)

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Dr. Rodrigo Máximo de Araújo

Universidade Estadual Paulista (Unesp)

Instituto de Ciência e Tecnologia

Campus de São José dos Campos

Prof. Dr. Eduardo Miyashita

Universidade Paulista (UNIP)

Campus de São Paulo

São José dos Campos, 15 de fevereiro de 2023.

DEDICATÓRIA

Ao meu pai **José Genilson de Queiroz** (*in memorian*), a minha maior saudade da vida, o meu melhor anjo da guarda e quem eu gostaria muito que estivesse presente fisicamente nesta etapa da minha vida. Meu pai sempre acreditou no meu esforço e capacidade, mesmo com suas limitações me incentivou a ser dentista e tenho certeza que ficaria feliz com mais essa conquista que estou alcançando. Tenho certeza também que nos meus momentos difíceis ele agiu de lá de cima, estando sempre ao meu lado.

À minha avó, **Basília Sabina de Queiroz** (*in memorian*), meu amor e minha joia. Meu primeiro grande exemplo de força.

À minha mãe, **Maria Sabina de Queiroz**, que tenho a honra em tê-la, minha companheira, minha guerreira, minha incentivadora! Nunca mediu esforços pra me ajudar. Nunca foi fácil pra gente, mas a gente tem conseguido. Tudo por você, mãe!

Ao **Lucas Ribeiro**, meu namorado, que esteve comigo em literalmente todos os momentos e me ajudou em todas as fases. Meu porto seguro.

À minha amada afilhada **Lívia de Queiroz Quintanilha** e meu amado afilhado **Cauan Queiroz**, por quem me esforço para servir de exemplo.

AGRADECIMENTOS

Inicialmente, gostaria de agradecer à **Deus**, toda honra e toda glória à Ele. Estou fazendo o que eu sempre sonhei, consegui concluir minha pesquisa com seriedade. Sem Deus, nada seria possível.

Ao meu orientador, **Tarcísio José de Arruda Paes Junior**, acreditou e confiou a mim esse trabalho. Soube orientar e despertar em mim as coisas necessárias para que tudo desse certo. Para um trabalho ser bem desempenhado é imprescindível uma sintonia entre Orientador e Orientado. Eu tive sorte. Obrigada pelas conversas e conselhos até mesmo em situações pessoais. Sou muito grata por toda ajuda, esforço, compreensão e estou orgulhosa dos frutos do projeto.

Ao Professor **Alexandre Luiz Souto Borges**, coordenador da pós graduação e dono da maior simpatia do ICT, que me auxiliou em TUDO o que precisei nessa pesquisa. Em dúvidas na parte escrita do FEA, no momento do estudo *in vitro* por extensometria, me ensinou sobre os extensômetros, me ajudou no FEA. Estava disponível para sanar todas as dúvidas que eram de sua expertise. Obrigada também por ter sido amigo quando precisei.

Ao meu coorientador, **João Paulo Mendes Tribst**, que sempre me incentivou em diversas atividades, me deu oportunidades e me ajudou no meu desenvolvimento intelectual, principalmente em relação à odontologia esportiva. Obrigada pelos incentivos e pela torcida.

Aos professores **Eduardo Uemura, João Mauricio Ferraz, Laffayette Nogueira Junior e Rodrigo Máximo de Araújo**, que permitiram minha participação nos Estágios Docência em Prótese Parcial Removível, elevaram meu nível de aprendizado e foram sempre muito disponíveis em me ajudar a evoluir profissionalmente. Obrigada por tudo! Sempre serei grata!

Aos queridos **Guilherme Scalzer e Jefferson Mattos**, que me auxiliaram nessa pesquisa. A ajuda de vocês foi fundamental! Muito obrigada pela parceria.

Aos meus amigos: **Leonardo Jiro Nomura Nakano, Lucas Tanaka, Ellen Randolli, Marcelle Coelho, Ana Luísa Theodoro, Thais Fernanda Gonçalves, Olga Djordjevic, Barbara Begnini, Matheus Fernandes, Beatriz Serralheiro, Alinne, Nathalia Ramos, Raquel Coutinho, William Simões, Laura Calvache,**

Natalia Rossi, Bianca Tanide e colegas de pós graduação, obrigada por todo apoio.

À minha aluna de Iniciação Científica, **Larissa Haddad e Borro**, que permitiu e confiou em mim para ser sua coorientadora. Obrigada por toda a dedicação em suas duas pesquisas com financiamento PIBIC.

À minha orientadora de cinco iniciações científicas com bolsa na graduação, **Luciane Dias de Oliveira**, que sempre despertou muita admiração em mim e me moldou para a pós graduação. Ela sabe o quanto sou grata e sabe exatamente tudo o que contribuiu para minha evolução pessoal e profissional.

Aos professores **Max Neisser e Lucio Murilo**, meus mestres, professores, parceiros de Projeto Onco e amigos com quem sempre pude contar e aprender. Independente do dia e horário. Obrigada por tudo. Vocês têm minha admiração, respeito e gratidão.

Aos demais professores da pós graduação em Ciências Aplicadas à Saúde Bucal – CASB, em especial: **Marco Antônio Bottino, Renata Marques de Mello e Renato Sussumu Nishioka**, por terem contribuído tanto para meu crescimento profissional e não medirem esforços para me ajudar!

Aos **Projetos de extensão: Onco, Dentaduras S.A e Prótese Bucomaxilofacial** e demais colaboradores, que me fizeram crescer demais como profissional da área da saúde e como ser humano. É uma honra fazer parte.

Aos funcionários do ICT **Fernandinho, Marcão, Josi, Juju da prótese, Lílian, Pâmela, Carol, Sandra, Marcinha e Val da periodontia** que sempre foram muito solícitos a me ajudar e criei muito carinho e gratidão.

À **Capes**, pela concessão de bolsa de mestrado durante os anos 2021 até novembro de 2022.

À **FAPESP**, pela concessão de bolsa de mestrado 2022/2023 - Processo 2021/11159-7 e pela concessão de Auxílio Pesquisa - Processo 2022/11307-9.

À **PIBIC**, pelas duas bolsas de IC para minha aluna Larissa Haddad e Borro, em especial a última que é diretamente correlacionada com minha dissertação – Processo 7129/2022.

À **Bioart**, pela concessão de todas as placas de EVA da realização desse estudo.

Aos membros da banca **Prof. Dr. Eduardo Miyashita e Prof. Dr. Rodrigo Máximo de Araújo**, pela disponibilidade em participar da minha banca de defesa de mestrado e colaborar com o trabalho realizado.

Aos membros da minha família, inclusive meus primos que me incentivaram verdadeiramente, não preciso citar nomes, eles sabem quem são e o que isso representou para mim.

À **UNESP** de São José dos Campos, por todas as oportunidades de crescimento que tive. É a minha instituição do coração.

A todos que de alguma forma contribuiu para a finalização deste trabalho. Ninguém vai longe sozinho. A vida e as conquistas são melhores ao lado das pessoas certas!

Ser mestre era um sonho para mim, que com muito esforço, abdicção, dedicação, força, coragem e auxílio de pessoas importantes, o projeto foi tomando forma e finalizado. Obrigada! Meus mais sinceros: Obrigada.

"Somehow I can't believe that there are any heights that can't be scaled by a person who knows the secrets of making dreams come true. This special secret, it seems to me, can be summarized in four Cs. They are curiosity, confidence, courage, and constancy, and the greatest of all is confidence". **Walt Disney**

RESUMO

Queiroz TS. Comportamento da associação entre protetor bucal e malha de reforço em poliamida na absorção de impacto em região anterior maxilar: análise *in silico* e *in vitro* [dissertação]. São José dos Campos (SP): Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Ciência e Tecnologia; 2023.

Esse estudo avaliou *in vitro* e *in silico* as respostas dentoalveolares em incisivos centrais frente a traumas na região anterior da maxila, com uso de protetores bucais (PB) reforçados por malha em poliamida em três diferentes localizações. Os grupos de estudo foram divididos em crânio com PB convencional em EVA (etileno vinil acetato) com 4mm de espessura; PB em EVA 4mm de espessura (controle) com reforço a 1mm (Mg 1+3), 2mm (Mg 2+2) e 3mm (Mg 3+1) do limite vestibular. No estudo *in vitro* um modelo do crânio foi impresso em Resina Spin Red - Quanton 3D abrangendo a região maxilar e os dentes individualmente em resina Resilab Clear - Wilcos e o ligamento periodontal foi simulado em silicone de adição. Para mensurar as microdeformações, foram colocados extensômetros no processo alveolar da maxila e no centro das coroas dos dentes 11 e 21, paralelos ao longo eixo destes. Os PB foram produzidos em EVA com reforços de acordo com cada grupo (n=10). O impacto foi realizado por meio de uma máquina específica desenvolvida aplicando a energia de $E_p=0,5496$ J, com força dentro do limite elástico do material do crânio no sentido horizontal paralelo ao solo e perpendicular à superfície de contato da esfera de 35mm. No estudo *in silico*, os quatro grupos foram modelados e analisados por análise explícita dinâmica simulando impacto por meio de uma esfera de aço com 35mm de diâmetro e 7.8 g/cm^3 de densidade a 1m/s com todas as condições semelhantes ao estudo *in vitro*. Os materiais foram considerados isotrópicos, homogêneos e lineares. Os contatos seguiram as mesmas condições físicas do ensaio *in vitro* (friccional e colado). As malhas foram definidas com tetraedros após convergência de 10%. As deformações e tensões máximas principais nos dentes e na maxila foram apresentadas em gráficos colorimétricos. Os dados obtidos do estudo *in vitro* foram submetidos aos testes de Shapiro-Wilk, Kruskal-Wallis e ao teste de comparação múltipla de Dunn (significância de 5%). Os resultados mostram diferença estatística para o grupo sem reforço em relação aos demais grupos ($p = 6,8 \times 10^{-5}$), em relação às as microdeformações ($\mu\epsilon$) nas diferentes áreas de impacto, não foi possível observar diferença estatística ($p = 0,879$). Os resultados da análise por elementos finitos corroboraram com o estudo *in vitro* por extensometria, o que permite validação dos modelos teóricos e práticos para análises futuras.

Palavras-chave: protetor bucal; trauma dentário; malha de reforço; resposta biomecânica.

ABSTRACT

Queiroz TS. Behavior of the association between mouthguard and polyamide reinforcement mesh on impact absorption in anterior maxillary region: in silico and in vitro analysis [dissertation]. São José dos Campos (SP): São Paulo State University (Unesp), Institute of Science and Technology; 2023.

This study evaluated *in vitro* and *in silico* dentoalveolar responses in central incisors to trauma in the anterior region of the maxilla, using mouthguards (MG) reinforced with polyamide mesh in three different locations. The study groups were divided into skull with conventional PB in EVA (ethylene vinyl acetate) with 4 mm thickness; PB in 4mm thick EVA (control) with reinforcement at 1mm (Mg 1+3), 2mm (Mg 2+2) and 3mm (Mg 3+1) from the vestibular limit. In the *in vitro* study, a skull model was printed in Spin Red Resin - Quanton 3D covering the maxillary region and teeth individually in Resilab Clear - Wilcos resin and the periodontal ligament was simulated in addition silicone. To measure the microdeformations, extensometers were placed in the alveolar process of the maxilla and in the center of the crowns of teeth 11th and 21th, parallel to their long axis. The BP were produced in EVA with reinforcements according to each group (n=10). The impact was performed by a specific machine developed, applying $E_p=0.5496$ J of energy, with force within the elastic limit of the skull material in the horizontal direction parallel to the ground and perpendicular to the contact surface of the 35mm sphere. In the *in silico* study, the four groups were modeled and analyzed by dynamic explicit analysis, simulating impact through a steel sphere with 35mm in diameter and 7.8 g/cm^3 of density at 1m/s with all conditions similar to the *in vitro* study. The materials were considered isotropic, homogeneous and linear. The contacts followed the same physical conditions of the *in vitro* test (frictional and glued). Meshes were defined with tetrahedrons after 10% convergence. The main maximum deformations and stresses in the teeth and in the maxilla were presented in colorimetric graphs. The data obtained from the *in vitro* study were submitted to the Shapiro-Wilk, Kruskal-Wallis and Dunn's multiple comparison test (5% significance). The results show a statistical difference for the group without reinforcement in relation to the other groups ($p = 6.8 \times 10^{-5}$), in relation to the microdeformations ($\mu\epsilon$) in the different areas of impact, it was not possible to observe a statistical difference ($p = 0.879$). The results of the finite element analysis corroborated the *in vitro* study by extensometry, which allows validation of theoretical and practical models for future analysis.

Keywords: mouthguard; dental trauma; reinforcement mesh; biomechanical response.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	12
2 REVISÃO DE LITERATURA.....	18
2.1 Traumas Orofaciais Esportivos.....	18
2.2 Protetores Bucais	20
2.3 Classificação dos Protetores Bucais.....	22
2.4 Reforços em Protetores Bucais	24
2.4.1 Fibras de <i>Nylon</i>	25
2.5 Análise por Extensometria	26
2.6 Análise por Elementos Finitos	27
3 PROPOSIÇÃO	30
4 MATERIAL E MÉTODOS.....	31
4.1 Análise por Elementos Finitos	32
4.1.1 Pré-Processamento	32
4.1.2 Preparo do Modelo	32
4.2 Estudo <i>in vitro</i>	37
4.2.1 Confecção dos Espécimes	37
4.2.2 Mensuração das Propriedades Mecânicas de Resinas para confecção de crânio.....	37
4.2.3 Resultados da Mensuração das Propriedades Mecânicas das Resinas ...	39
4.2.4 Modelo Maxilar.....	40
4.2.5 Dentes com estrutura radicular.....	41
4.2.6 Inclusão de dentes em alvéolos maxilares	43
4.2.7 Individualização de crânio	44
4.2.8 Confecção do Protetor Bucal	45
4.2.9 Testes de Impacto	52
4.2.10 Extensometria.....	55
5 RESULTADOS.....	59
5.1 Análise por Elementos Finitos	59
5.2 Estudo <i>in vitro por extensometria</i>	63
5.2.1 Análise Estatística.....	63
5.3 Validação.....	68

6 DISCUSSÃO	69
7 CONCLUSÃO	77
REFERÊNCIAS.....	78

1 INTRODUÇÃO

A odontologia esportiva é uma das mais recentes modalidades odontológicas que demonstra grande ascensão. Essa especialidade engloba desde prevenção, até o tratamento de atletas que apresentam lesões orofaciais e patologias orais (Saini, 2011). Grande parte das práticas esportivas apresentam riscos de traumas orofaciais e concussões aos atletas participantes, o que torna a incidência de lesões orofaciais no esporte amplamente documentada (Fernandes et al., 2019; Knapik, et al., 2007; Lam, 2016; Piccininni et al., 2017; Sousa et al., 2020; Tribst et al., 2020).

As lesões orofaciais representam uma classe de trauma, que inclui fraturas em coroas dentárias, laceração de tecidos moles, como a língua e gengiva, traumas em ossos da face, danos na articulação temporomandibular (Ahmed et al., 2021; Knapik et al., 2007; Sousa et al., 2020; Tribst et al., 2020), fraturas radiculares, concussão, subluxação, extrusão, intrusão, luxação e avulsão dentária (Tuna et al., 2014). Traumas na região oral e maxilofacial podem apresentar-se inconvenientes, como diminuição na performance do atleta, bem como afastamento da participação em competições importantes, além de afetar mudanças na expressão facial, limitar ações cotidianas como mastigação, fonação, influenciar negativamente a nutrição e, consequentemente gerar perda de massa muscular, redução de desempenho, força e ritmo de jogo. Essas alterações implicam em grande cobrança do clube, empresários e patrocinadores, devido aos investimentos, e, em casos mais graves, trazer impactos psicológicos, por promoverem sequelas permanentes (Park et al., 2021; Saito et al., 2022; Tuna et al., 2014).

A face é a região do corpo mais vulnerável a traumas e normalmente mostra-se como a menos protegida em treinos e competições esportivas. Além disso, cerca de 11 a 40% de todas as lesões esportivas envolvem a face e são resultantes de impactos por objetos ou contato entre jogadores (Saini, 2011). Segundo Sousa e colaboradores (2020), a porcentagem média de esportistas por modalidades que sofreram lesões orofaciais de qualquer tipo são: luta livre (83,3%), boxe (73,7%), basquete (70,6), *karatê* (60,0%), jiu-jitsu (41,2%), handebol (37,1%), futebol (23,3%), judô (22,3%) e hóquei de campo (11,5%). Diante disso, em 1950, a

American Dental Association (ADA) sugeriu o uso de proteção com dispositivos resilientes, os protetores bucais, com a finalidade de evitar ou atenuar lesões orofaciais, mesmo quando o impacto não é diretamente exercido sobre o dente (Tribst et al., 2020). Após uma década, foram verificados resultados positivos em relação à efetividade e diminuição da incidência de danos nas estruturas orofaciais, o que tornou obrigatório seu uso em práticas esportivas com contato físico (Sousa et al., 2020). Atualmente, a ADA recomenda o uso de protetor bucal para 29 diferentes modalidades de esportes, como: artes marciais, luta livre, boxe, hóquei de gelo e campo, *squash*, futebol americano, surfe, *skate*, basquete, handebol, pólo aquático, vôlei, ginástica, raquetebol, *rugby*, arremesso de peso, hipismo, ciclismo entre outros (Knapik et al., 2007; Sousa et al., 2020).

Os protetores bucais são classificados de acordo com sua confecção, sendo estes divididos em três grupos: estoque, método “aquece e morde” e individualizado (Saini, 2011; Tribst et al., 2020). Os protetores bucais de estoque são definidos como bandejas plásticas que envolvem os dentes, além disso são as opções mais baratas e menos precisas. Os realizados através do aquecimento e mordida possuem material termoplástico e devem ser aquecidos em água quente e modelados em boca através da pressão da mordida. Os protetores bucais individualizados são realizados com auxílio do dentista (Bishop et al., 1985), os quais utilizam modelos da boca do paciente para obtenção de um protetor bucal preciso e eficiente (Tribst et al., 2018), além de oferecer melhor capacidade de fonação, cardiorrespiratória e menor incômodo ao atleta (Caneppele et al., 2017).

O tipo de material utilizado na confecção do protetor bucal pode influenciar sua eficácia (Fernandes et al., 2019), entre os materiais mais utilizados na produção desse dispositivo são: copolímero de polivinil acetato-polietileno ou etileno vinil acetato (EVA), policloreto de vinil, látex, resina acrílica e poliuretano (Knapik et al., 2007). O EVA é o material mais utilizado, o que garante propriedades físicas ao aparelho, possibilitando a absorção de impacto (Kataoka et al., 2014; Tribst et al., 2020), ser de fácil manuseio, ter habilidade de não absorção de água, além de permitir a inclusão de camadas de reforço dentro do protetor (Tribst et al., 2020).

A espessura sugerida para confecção de protetores bucais feitos de EVA para que promova adequada absorção de impacto, está entre três e quatro milímetros (Kataoka et al., 2014). Westerman e colaboradores (2002) verificaram

que o aumento na espessura a partir de 4 mm apresentaria uma pequena melhora na absorção de impacto, o que não traria grandes benefícios por diminuir o conforto do usuário (Knapik et al., 2007).

Os protetores bucais atuam reduzindo lesões orofaciais através da prevenção de fraturas ou deslocamento de dentes (Caneppele et al., 2017); proteção contra fraturas da mandíbula; redução da possibilidade de laceração de tecidos moles, através da separação dos dentes e tecidos moles; e redução de concussão através da estabilização da cabeça ao utilizar o protetor bucal (Knapik et al., 2007). A dissipação de forças é realizada devido à cobertura adequada realizada pelo EVA em todos os dentes e estruturas, e a redução do impacto para o complexo da articulação temporomandibular é obtido através do espaço entre a cabeça da mandíbula e a cavidade articular, obtido pela separação entre os dentes pelo protetor bucal. Durante o impacto, esse espaço é suficiente para reduzir ou prevenir traumas entre as estruturas previamente citadas (Piccininni et al., 2017).

Apesar de sua capacidade de reduzir riscos de danos orofaciais, alguns atletas julgam ser difícil utilizar este equipamento, relatando instabilidade, sensação de boca seca, mau hálito, dificuldade na fala e ao respirar, além de náuseas e percepção de queda na performance (Caneppele et al., 2017). Entretanto, uma revisão sistemática realizada por Caneppele e colaboradores em 2017, demonstrou que o protetor bucal individualizado é o modelo que apresenta menor interferência na fala, respiração e sensação de boca seca. Além disso, mostrou-se com melhor adaptação na cavidade bucal e menor sensação de náuseas aos atletas analisados. O protetor bucal individualizado apresenta resultados mais próximos do que é considerado como ideal para uso, promovendo adequada proteção durante as atividades de contato (Tribst et al., 2018).

Embora o uso desse dispositivo em atividades esportivas seja fundamental para prevenção ou redução de lesões orofaciais, mesmo com o uso deste durante a ocorrência de impactos na face, as tensões aplicadas nas estruturas rígidas ainda são relevantes, principalmente em incisivos centrais superiores (Tribst et al., 2020). Diante disso, foram realizados estudos em busca de elevar a efetividade dos protetores bucais, utilizando reforços, como uso de camadas laminadas, cavidades contendo ar (Takeda et al., 2006), inserções de laminados de sorbotano (Bulsara et al., 1998), resina acrílica (Patrick et al., 2002), malha de sílica (Tribst et al., 2020),

titânio (Kataoka et al., 2014), esponjas e fibra de vidro (Matsuda et al., 2020). Entretanto, a literatura mostra-se inconclusiva sobre o melhor método de reforço de protetores bucais (Kataoka et al., 2014; Tribst et al., 2020).

Fibras de *nylon* modificadas por sílica são um exemplo de material que pode ser utilizado para reforço de protetores bucais durante o processo de confecção desse dispositivo (Tribst et al., 2020), pois as fibras de *nylon* possuem amidas polares que permitem que cadeias adjacentes realizem ligações de hidrogênio, o que favorece a progressão de sua cristalinidade, resistência e durabilidade. A eficácia de reforços realizados por meio dessas fibras depende de seus projetos de estrutura e orientação, além da força aplicada e sua ligação com o material a ser reforçado, para transferência de cargas (Paes-Junior et al., 2017). Além disso, um dos métodos considerados mais bem sucedidos para melhorar as propriedades mecânicas da resina acrílica é a incorporação de nanopartículas de sílica, o que demonstra efeitos significativos tanto em aspectos mecânicos quanto térmicos (Cevik et al., 2018).

No Instituto de Ciência e Tecnologia de São José dos Campos/UNESP-SP, foi desenvolvida uma malha composta de *nylon* (poliamida) incorporada por sílica em 0.5% de seu volume (patente número BR1020120281198) com a finalidade de unir as propriedades mecânicas desses materiais, melhorando a distribuição de cargas (Almeida et al., 2016). Baseado nisso, foram realizados estudos onde esta estrutura foi inserida dentro de polímeros como resina acrílica e bisacrílica a fim de confeccionar estruturas de próteses fixas provisórias (Paes-Jr et al., 2017) e, em próteses totais mucossuportadas e implantossuportadas de arco completo (Almeida et al., 2016; Gonçalves et al., 2018; Paes-Jr et al., 2017), promovendo melhorias na resistência das estruturas testadas.

Considerando a grande importância e crescimento que a odontologia do esporte apresenta (Saini, 2011), o uso de reforços com fibras de *nylon* incorporada por sílica em protetores bucais customizados pode ser uma solução inovadora na absorção de impactos e redução de lesões orofaciais, uma vez que esse tipo de trauma acaba por diminuir a performance do atleta e pode afastá-lo de importantes competições (Park et al., 2021; Tuna et al., 2014), sendo de grande importância o desenvolvimento de novas tecnologias a fim de reduzir esses grandes impactos.

Tribst e colaboradores (2019) realizaram um estudo *in silico* em protetores

bucais com 4mm de espessura de EVA, reforçados pela malha de *nylon* incorporada por sílica. O reforço foi posicionado no centro do sentido horizontal da região vestibular do protetor bucal, e ao se tratar da disposição cérvico-oclusal, foi situado na região cervical dos dentes. Entretanto, não houve diferença significativa na resposta biomecânica das estruturas orofaciais frente ao impacto ao utilizar o protetor bucal com reforço na disposição previamente citada, quando comparado ao protetor bucal convencional de EVA com 4mm de espessura. Considerando o estudo preliminar limitado em suas análises entende-se ser interessante avaliar a resposta biomecânica das estruturas acometidas, com o reforço a ser posicionado em diferentes disposições da zona neutra, em localização centralizada em relação à coroa e associar diversos tipos de análises a fim de se ter uma avaliação mais completa acerca desta variação de técnica.

Estudos que utilizam metodologia *in silico* por meio de análises de elemento finito (FEA), apresentam-se confiáveis para avaliar tensões e deformações sob aplicação de carga em estruturas complexas desenvolvidas por meio de modelos numéricos em softwares. O uso dessa metodologia possibilita desenvolvimento de estudos sobre mecânica do trauma por impacto, analisando regiões que podem ocorrer falhas estruturais por impacto, interpretação de respostas nos tecidos biológicos afetados pelo impacto de forma individualizada, uma vez que é extremamente complexo replicar traumas maxilofaciais *in situ* (Borges et al., 2020). Atualmente, há a possibilidade de realizar modelagens complexas e simulações computacionais de trauma, analisando de forma precisa e segura e com custo inferior ao de protótipos reais, representando também um grande avanço na área biológica (Gialain et al., 2016). Dessa forma, o desenvolvimento de modelos individualizados de protetores bucais em softwares e analisados por meio do FEA, apresenta-se adequado para avaliar a dissipação do impacto em regiões maxilofaciais, e os efeitos do uso de diferentes protetores bucais na proteção de lesões orofaciais (Tribst et al., 2020).

Além da análise computacional, os testes *in vitro* mais comumente utilizados para avaliar a absorção de impacto em um protetor bucal ou em seus materiais utilizados são através de pêndulo, queda de peso ou pistão. Outro teste importante na avaliação de absorção de impacto é o de extensometria, que realiza medições de tensão através de energia obtida por compressão (Knapik et al., 2007). Embora

frequentemente os estudos atuais utilizem nos testes in vitro dispositivos de pêndulo associado a medidores de tensão para verificar a absorção de impacto (Tribst et al., 2020), a utilização de pêndulos apresenta parâmetros qualitativos como resultados, uma vez que a principal medida nesse ensaio é a quantidade absorvida para fraturar o corpo de prova e esta é relativa, pois as condições do ensaio e corpo de prova podem diferir bastante das condições reais (Pandolfi, 2006). Portanto, é interessante o uso de máquina com força controlada de impacto para realização desses testes associada a dispositivos de extensometria.

Diante da necessidade de desenvolvimento de protetores bucais que sejam capazes de suprimir as tensões que não são absorvidas por esses dispositivos e mostram-se ainda relevantes ao afetar estruturas orofaciais, principalmente incisivos centrais superiores, gerando grande impacto na vida pessoal e profissional do paciente, é fundamental estudar a possibilidade de reforçar o protetor bucal em diferentes disposições com materiais que se mostram eficientes na literatura, através da união de metodologias in sílico e in vitro para que apresentem resultados mais fidedignos possíveis.

7 CONCLUSÃO

Baseado nas proposições desse estudo pode-se concluir que:

- A associação de protetores bucais a um sistema de reforço influenciou na absorção de impactos para os tecidos bucais, o que permite rejeitar a hipótese nula 1, uma vez que os protetores bucais convencionais sem reforço mostraram diferença estatisticamente significativa em relação aos grupos com reforço, sendo estes mais favoráveis na absorção do impacto.

- A modificação da localização sistema de reforço nos protetores bucais não influenciou na absorção de impactos para os tecidos bucais, o que permite aceitar a hipótese nula 2 do presente estudo, uma vez que os grupos com reforço não apresentaram diferença estatisticamente significativa entre si.

- Os resultados da análise por elementos finitos corroboraram com o estudo *in vitro* por extensometria, o que permite validação dos modelos teóricos e práticos para análises futuras.

REFERÊNCIAS

Abreu CW, Nishioka RS, Balducci I, Consani RL. Straight and offset implant placement under axial and nonaxial loads in implant-supported prostheses: strain gauge analysis. *J Prosthodont*. 2012 Oct;21(7):535-9. doi: 10.1111/j.1532-849X.2012.00871.x. Epub 2012 Aug 20. PMID: 22905920.

Ahmed I, Fine P. 'Injury prevention versus performance': has the time come to mandate the use of mouthguards in all contact sports? *BMJ Open Sport Exerc Med*. 2021 Jan 13;7(1):e000828. doi: 10.1136/bmjsem-2020-000828. PMID: 33500783; PMCID: PMC7812105.

Almeida CS, Amaral M, de Cássia Papaiz Gonçalves F, de Arruda Paes-Junior TJ. Effect of an experimental silica-nylon reinforcement on the fracture load and flexural strength of bisacrylic interim partial fixed dental prostheses. *J Prosthet Dent*. 2016 Mar;115(3):301-5. doi: 10.1016/j.prosdent.2015.08.009. Epub 2015 Nov 6. PMID: 26548883.

Bemelmans P, Pfeiffer P. Shock absorption capacities of mouthguards in different types and thicknesses. *Int J Sports Med*. 2001 Feb;22(2):149-53. doi: 10.1055/s-2001-11342. PMID: 11281619.

Bhalla A, Grewal N, Tiwari U, Mishra V, Mehla NS, Raviprakash S, Kapur P. Shock absorption ability of laminate mouth guards in two different malocclusions using fiber Bragg grating (FBG) sensor. *Dent Traumatol*. 2013 Jun;29(3):218-25. doi: 10.1111/j.1600-9657.2012.01159.x. Epub 2012 Jul 16. PMID: 22805585.

Bishop BM, Davies EH, Von Fraunhofer JA. Materials for mouth protectors. *J Prosthet Dent*. 1985 Feb 1;53(2):256-61.

Bochnig MS, Oh MJ, Nagel T, Ziegler F, Jost-Brinkmann PG. Comparison of the shock absorption capacities of different mouthguards. *Dent Traumatol*. 2017 Jun;33(3):205-213. doi: 10.1111/edt.12324. Epub 2017 Mar 14. PMID: 28231638.

Bulsara YR, Matthew IR. Forces transmitted through a laminated mouthguard material with a Sorbothane insert. *Endod Dent Traumatol*. 1998 Feb;14(1):45-7. doi: 10.1111/j.1600-9657.1998.tb00807.x. PMID: 9643177.

Caneppele T, Borges A, Pereira D, Fagundes A, Fidalgo T, Maia L. mouthguard use and cardiopulmonary capacity – a systematic review and meta-analysis. *Sports Med Int Open*. 2017;1(05):E172–82. doi: 10.1055/s-0043-117599.

Carvalho V, Soares P, Verissimo C, Pessoa R, Versluis A, Soares C. Mouthguard biomechanics for protecting dental implants from impact: experimental and finite element impact analysis. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2018;33(2):335–43. doi: 10.11607/jomi.5803.

Carter DR, Hayes WC. Compact bone fatigue damage--I. Residual strength and stiffness. *J Biomech*. 1977;10(5-6):325-37. doi: 10.1016/0021-9290(77)90005-7. PMID: 893471.

Cevik P, Yildirim-Bicer AZ. The effect of silica and prepolymer nanoparticles on the mechanical properties of denture base acrylic resin. *J Prosthodont*. 2018 Oct;27(8):763-770. doi: 10.1111/jopr.12573. Epub 2016 Nov 29. PMID: 27898997.

Churei H, Chowdhury RU, Yoshida Y, Tanabe G, Fukasawa S, Shirako T, et al. Use of the fiberglass reinforcement method in thermoplastic mouthguard materials to improve flexural properties for enhancement of functionality. *Dent Mater J*. 2021;40(6):1338–44. doi: 10.4012/dmj.2020-402.

Cummins NK, Spears IR. The effect of mouthguard design on stresses in the tooth-bone complex. *Med Sci Sports Exerc*. 2002;34(6):942–7. doi: 10.1097/00005768-200206000-00006.

de Wet FA, Heyns M, Pretorius J. Shock absorption potential of different mouth guard materials. *J Prosthet Dent*. 1999 Sep;82(3):301-6. doi: 10.1016/s0022-3913(99)70084-3. PMID: 10479256.

Datte CE, Datte FB, Borges AL, Campos JF, Lopes GD, Tribst JP, Nishioka RS. The influence of restorative material, bone height and implant system on the stress distribution of implant-supported posterior crowns. *Int J Dev Res*. 2021 Feb;11(02):44925-31.

Dos Santos DA, De Souza MAS, Tupinamba WLM. Development of a portable data acquisition system for extensometry. exp techniques. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/222473>>.

Emerich K, Kaczmarek J. First aid for dental trauma caused by sports activities: state of knowledge, treatment and prevention. Sports Med. 2010 May 1;40(5):361-6. doi: 10.2165/11530750-000000000-00000. PMID: 20433209.

Fernandes LM, Neto JCL, Lima TFR, Magno MB, Santiago BM, Cavalcanti YW, et al. The use of mouthguards and prevalence of dento-alveolar trauma among athletes: A systematic review and meta-analysis. Dent Traumatol. 2019 Feb;35(1):54-72. doi: 10.1111/edt.12441. Epub 2018 Oct 16. PMID: 30222244.

Frontera RR, Zanin L, Ambrosano GM, Flório FM. Orofacial trauma in Brazilian basketball players and level of information concerning trauma and mouthguards. Dent Traumatol. 2011 Jun;27(3):208-16. doi: 10.1111/j.1600-9657.2009.00781.x. Epub 2011 Apr 18. PMID: 21496201.

Gialain IO, Coto NP, Driemeier L, Noritomi PY, Dias RB. A three-dimensional finite element analysis of the sports mouthguard. Dent Traumatol. 2016 Oct;32(5):409-15. doi: 10.1111/edt.12265. Epub 2016 Mar 6. PMID: 26948056.

Gföhler M, Peham C. What can finite element analysis tell us? Equine Vet J. 2013 May;45(3):265-6. doi: 10.1111/evj.12070. PMID: 23565696.

Gonçalves FCP, Amaral M, Borges ALS, Gonçalves LFM, Paes-Junior TJA. Fracture load of complete-arch implant-supported prostheses reinforced with nylon-silica mesh: An in vitro study. J Prosthet Dent. 2018 Apr;119(4):606-610. doi: 10.1016/j.prosdent.2017.05.018. Epub 2017 Jul 11. PMID: 28709676.

Greasley A, Imlach G, Karet B. Application of a standard test to the in vitro performance of mouthguards. Br J Sports Med. 1998 Mar;32(1):17-9. doi: 10.1136/bjsm.32.1.17. PMID: 9562158; PMCID: PMC1756058.

Green JI. The role of mouthguards in preventing and reducing sports-related trauma. Prim Dent J. 2017;6(2):27–34. doi: 10.1308/205016817821281738.

Handa J, Takeda T, Kurokawa K, Ozawa T, Nakajima K, Ishigami K. Influence of pre-laminated material on shock absorption ability in specially designed mouthguard with hard insert and space. *J Prosthodont Res.* 2011;55(4):214–20. doi: 10.1016/j.jpor.2011.02.003.

Holberg C, Heine AK, Geis P, Schwenzer K, Rudzki-Janson I. Three-dimensional soft tissue prediction using finite elements. Part II: Clinical application. *J Orofac Orthop.* 2005 Mar;66(2):122-34. English, German. doi: 10.1007/s00056-005-0422-7. PMID: 15827700.

Kamenskikh A, Kuchumov AG, Baradina I. Modeling the contact interaction of a pair of antagonist teeth through individual protective mouthguards of different geometric configuration. *Materials (Basel).* 2021 Nov 30;14(23):7331. doi: 10.3390/ma14237331. PMID: 34885485; PMCID: PMC8658410.

Karaganeva R, Pinner S, Tomlinson D, Burden A, Taylor R, Yates J, et al. Effect of mouthguard design on retention and potential issues arising with usability in sport. *Dent Traumatol.* 2019 Feb;35(1):73-79. doi: 10.1111/edt.12446. Epub 2018 Nov 8. PMID: 30295996.

Kataoka SH, Setzer FC, Gondim E Jr, Caldeira CL. Impact absorption and force dissipation of protective mouth guards with or without titanium reinforcement. *J Am Dent Assoc.* 2014 Sep;145(9):956-9. doi: 10.14219/jada.2014.54. PMID: 25170003.

Knapik JJ, Marshall SW, Lee RB, Darakjy SS, Jones SB, Mitchener TA, et al. Mouthguards in sport activities : history, physical properties and injury prevention effectiveness. *Sports Med.* 2007;37(2):117-44. doi: 10.2165/00007256-200737020-00003. PMID: 17241103.

Kumamoto DP. Sports dentistry. *Compendium.* 1993;14(4):129–31. doi: 10.4103/0975-5950.94465.

Lam R. Epidemiology and outcomes of traumatic dental injuries: A review of the literature. *Aust Dent J.* 2016;61:4–20. doi: 10.1111/adj.12395.

Lopes GD, Matos JD, Queiroz DA, Tribst JP, Ramos ND, Rocha MG, et al. Influence of abutment design on biomechanical behavior to support a screw-retained 3-unit fixed partial denture. *Materials*. 2022 Sep 8;15(18):6235.

Matsuda Y, Nakajima K, Saitou M, Katano K, Kanemitsu A, Takeda T, et al. The effect of light-cured resin with a glass fiber net as an intermediate material for Hard & Space mouthguard. *Dent Traumatol*. 2020 Dec;36(6):654-661. doi: 10.1111/edt.12560. Epub 2020 May 11. PMID: 32304262.

Matos JDM, Queiroz DA, Nakano LJN, Andrade VC, Ribeiro NCR, Borges ALS, et al. Bioengineering tools applied to dentistry: validation methods for in vitro and in silico analysis. *Dent J (Basel)*. 2022 Aug 4;10(8):145. doi: 10.3390/dj10080145. PMID: 36005243; PMCID: PMC9406698.

Mendel DA, Ucar Y, Brantley WA, Rashid RG, Harrell SL, Grentzer TH. Impact energy absorption of three mouthguard materials in an aqueous environment. *Dent Traumatol*. 2009 Feb;25(1):130-5. doi: 10.1111/j.1600-9657.2008.00751.x. PMID: 19208026.

MINELA, SN. Extensometria: estudo e aplicação [tcc]. Joinville (SC): Universidade Federal de Santa Catarina; 2017.

Miyashiro M, Suedam V, Moretti Neto RT, Ferreira PM, Rubo JH. Validation of an experimental polyurethane model for biomechanical studies on implant supported prosthesis--tension tests. *J Appl Oral Sci*. 2011 May-Jun;19(3):244-8. doi: 10.1590/s1678-77572011000300012. PMID: 21625741; PMCID: PMC4234337.

Mizuhashi F, Koide K. Appropriate fabrication method for vacuum-formed mouthguards. *Dent Traumatol*. 2017 Apr;33(2):110-113. doi: 10.1111/edt.12302. Epub 2016 Oct 4. PMID: 27500893.

Nakano LJ, Tribst JP, Dal Piva AM. Maximum fracture load and stress concentration in resin-bonded fixed partial dentures of indirect composite resin reinforced by silica-nylon mesh. *J Dent Health Oral Disord Ther*. 2021;12(5):96-101.

Nishioka RS, Nishioka LN, Abreu CW, de Vasconcellos LG, Balducci I. Machined and plastic copings in three-element prostheses with different types of implant-

abutment joints: a strain gauge comparative analysis. *J Appl Oral Sci.* 2010 May-Jun;18(3):225-30. doi: 10.1590/s1678-77572010000300005. PMID: 20856998; PMCID: PMC5349059.

Nishioka RS, de Vasconcellos LG, Jóias RP, Rode Sde M. Load-application devices: a comparative strain gauge analysis. *Braz Dent J.* 2015 May-Jun;26(3):258-62. doi: 10.1590/0103-6440201300321. PMID: 26200149.

Ozawa T, Takeda T, Ishigami K, Narimatsu K, Hasegawa K, Nakajima K, et al. Shock absorption ability of mouthguard against forceful, traumatic mandibular closure. *Dent Traumatol.* 2014 Jun;30(3):204-10. doi: 10.1111/edt.12063. Epub 2013 Sep 2. PMID: 23998278.

Paes-Junior TJDA, De Castro HL, Borges ALS, Della Bona A, Gonçalves FDCP. A novel silica-nylon mesh reinforcement for dental prostheses. *Adv Mater Sci Eng.* 2017;2017. doi: 10.1155/2017/3709171.

Park HK, Park JY, Choi NR, Kim UK, Hwang DS. Sports-related oral and maxillofacial injuries: a 5-year retrospective study, pusan national university dental hospital. *J Oral Maxillofac Surg.* 2021 Jan;79(1):203.e1-203.e8. doi: 10.1016/j.joms.2020.07.218. Epub 2020 Aug 5. PMID: 32866487.

Parker K, Marlow B, Patel N, Gill DS. A review of mouthguards: Effectiveness, types, characteristics and indications for use. *Br Dent J.* 2017;222(8):629–33. doi: 10.1038/sj.bdj.2017.365.

Patrick DG, Van Noort R, Found MS. Scale of protection and the various types of sports mouthguard. *Br J Sports Med.* 2005;39(5):278–81. doi: 10.1136/bjsm.2004.012658.

Piccininni P, Clough A, Padilla R, Piccininni G. Dental and orofacial injuries. *Clin Sports Med.* 2017;36(2):369–405. doi: 10.1016/j.csm.2016.12.001.

Rees JS, Jacobsen PH, Gialain IO, Pena N, Noritomi Y, Brito R, et al. Elastic modulus of the periodontal ligament. *Sport Sci Health.* 1997;18(14):995–9. doi: 10.1111/j.1532-849X.2012.00871.x.

Saito M, Nakajima K, Tsutsui A, Sakaue T, Kanemitsu A, Takeda T, et al. Effects of mouthguards on skin damage in vitro study. *Eur J Dent*. 2022 Oct 28. doi: 10.1055/s-0042-1756474. Epub ahead of print. PMID: 36307114.

Sarac R, Helbig J, Dräger J, Jost-Brinkmann PG. A comparative study of shock absorption capacities of custom fabricated mouthguards using a triangulation sensor. *Materials*. 2019;12(21):1–13. doi: 10.3390/ma12213535.

Scott CEH, Simpson AHRW, Pankaj P. Distinguishing fact from fiction in finite element analysis. *Bone Joint J*. 2020 Oct;102-B(10):1271-1273. doi: 10.1302/0301-620X.102B10.BJJ-2020-0827.R1. PMID: 32993345.

Shelley A, Winwood K, Allen T, Horner K. Effectiveness of hard inserts in sports mouthguards: a systematic review. *Br Dent J*. 2022;1–9. doi: 10.1038/s41415-022-4089-x.

Sousa AM, Pinho AC, Messias A, Piedade AP. Present status in polymeric mouthguards. a future area for additive manufacturing? *Polymers (Basel)*. 2020 Jul 3;12(7):1490. doi: 10.3390/polym12071490. PMID: 32635307; PMCID: PMC7407806.

Souza AC, Xavier TA, Platt JA, Borges AL. Effect of base and inlay restorative material on the stress distribution and fracture resistance of weakened premolars. *Oper Dent*. 2015 Jul-Aug;40(4):E158-66. doi: 10.2341/14-229-L. Epub 2015 Mar 12. PMID: 25764042.

Takeda T, Ishigami K, Handa J, Naitoh K, Kurokawa K, Shibusawa M, et al. Does hard insertion and space improve shock absorption ability of mouthguard? *Dent Traumatol*. 2006 Apr;22(2):77-82. doi: 10.1111/j.1600-9657.2006.00361.x. PMID: 16499630.

Takeda T, Ishigami K, Nakajima K, Naitoh K, Kurokawa K, Handa J, et al. Are all mouthguards the same and safe to use? Part 2. The influence of anterior occlusion against a direct impact on maxillary incisors. *Dent Traumatol*. 2008;24(3):360–5. doi: 10.1111/j.1600-9657.2008.00576.x.

Takeda T, Ishigami K, Ogawa T, Nakajima K, Shibusawa M, Shimada A, et al. Are all mouthguards the same and safe to use? The influence of occlusal supporting mouthguards in decreasing bone distortion and fractures. *Dent Traumatol.* 2004;20(3):150–6. doi: 10.1111/j.1600-4469.2004.00247.x.

Tribst JPM, Dal Piva AM de O, Borges AL, Bottino MA. Simulation of mouthguard use in preventing dental injuries caused by different impacts in sports activities. *Sport Sci Health.* 2019 April 1;15:85-90. doi: 10.1007/s11332-018-0488-4.

Tribst JPM, Dal Piva AM de O, Ausiello P, De Benedictis A, Bottino MA, Borges ALS. Biomechanical analysis of a custom-made mouthguard reinforced with different elastic modulus laminates during a simulated maxillofacial trauma. *Craniofac Trauma Reconstr.* 2020a;194338752098023. doi: 10.1177/1943387520980237.

Tribst JPM, Dal Piva AM de O, Bottino MA, Kleverlaan CJ, Koolstra JH. Mouthguard use and TMJ injury prevention with different occlusions: A three-dimensional finite element analysis. *Dent Traumatol.* 2020b;36(6):662–9. doi: 10.1111/edt.12577.

Tribst JPM, Dal Piva AM de O, de Carvalho PCK, Gonçalves PHP de Q, Borges ALS, Paes-Junior TJ de A. Does silica–nylon mesh improves the biomechanical response of custom-made mouthguards? *Sport Sci Health.* 2019;(0123456789). doi: 10.1007/s11332-019-00575-9.

Tribst JPM, de Oliveira Dal Piva AM, Borges ALS, Bottino MA. Influence of custom-made and stock mouthguard thickness on biomechanical response to a simulated impact. *Dent Traumatol.* 2018;34(6):429–37. doi: 10.1111/edt.12432.

Tulunoglu I, Özbek M. Oral trauma, mouthguard awareness, and use in two contact sports in Turkey. *Dent Traumatol.* 2006;22(5):242–6. doi: 10.1111/j.1600-9657.2006.00386.x.

Tuna EB, Ozel E. Factors affecting sports-related orofacial injuries and the importance of mouthguards. *Sports Med.* 2014;44(6):777–83. doi: 10.1007/s40279-014-0167-9.

Vliet KE, Kleverlaan CJ, Lobbezoo F, de Lange J, van Wijk AJ. Maximum impact heights of currently used mouthguards in field hockey. *Dent Traumatol*. 2020 Aug;36(4):427-32.

Verissimo C, Costa PVM, Santos-Filho PCF, Tantbirojn D, Versluis A, Soares CJ. Custom-fitted EVA mouthguards: What is the ideal thickness? A dynamic finite element impact study. *Dent Traumatol*. 2016;32(2):95–102. doi: 10.1111/edt.12210.

Werz SM, Zeichner SJ, Berg BI, Zeilhofer HF, Thieringer F. 3D Printed Surgical Simulation Models as educational tool by maxillofacial surgeons. *Eur J Dent Educ*. 2018 Aug;22(3):e500-e505. doi: 10.1111/eje.12332. Epub 2018 Feb 26. PMID: 29479802..

Welch-Phillips A, Gibbons D, Ahern DP, Butler JS. What is finite element analysis? *Clin Spine Surg*. 2020 Oct;33(8):323-324. doi: 10.1097/BSD.0000000000001050. PMID: 32675684.

Watermeyer GJ, Thomas CJ, Jooste CH. The protective potential of mouthguards. *J Dent Assoc S Afr*. 1985 Apr;40(4):173-7. PMID: 3864292.

Westerman B, Stringfellow PM, Eccleston JA. EVA mouthguards: how thick should they be? *Dent Traumatol*. 2002 Feb;18(1):24-7. doi: 10.1034/j.1600-9657.2002.180103.x. PMID: 11841462.

Zarone F, Apicella D, Sorrentino R, Ferro V, Aversa R, Apicella A. Influence of tooth preparation design on the stress distribution in maxillary central incisors restored by means of alumina porcelain veneers: a 3D-finite element analysis. *Dent Mater*. 2005 Dec;21(12):1178-88. doi: 10.1016/j.dental.2005.02.014. Epub 2005 Aug 10. PMID: 16098574.

Żur P, Kołodziej A, Baier A. Finite elements analysis of pla 3d-printed elements and shape optimization. *Eur J Eng Sci Tech*. 2019;2(1):59-64.