

IMPRESSÃO 3D NA ORTOPEDIA: ONDE ESTAMOS E AONDE PODEMOS CHEGAR

Maria Eugênia Paula Pires¹
Vitoria Vilas Boas da Silva Bomfim²
Daniel Jonathan Medvedovsky Alba³
Yasmin de Matos Capistranio⁴
Hygor Regadas Barros Souza⁵
Felipe de Castro Dantas Sales⁶
Edenilze Teles Romeiro⁷
Eryvelton de Souza Franco⁸
Ana Carolina Messias de Souza Ferreira da Costa⁹

RESUMO: O artigo "Impressão 3D na Ortopedia: Onde Estamos e Onde Podemos Chegar" discute a atual utilização da impressão 3D na área da ortopedia e as possibilidades futuras dessa tecnologia. Ele começa explicando as vantagens da impressão 3D em relação aos métodos tradicionais de fabricação, tais como a capacidade de personalização e a rapidez na produção. Em seguida, o artigo aborda a aplicação da impressão 3D na ortopedia, que inclui a produção de próteses, órteses e guias cirúrgicos. O artigo também explora os desafios enfrentados pela impressão 3D na ortopedia, como a necessidade de materiais biocompatíveis e a necessidade de avaliação clínica e regulamentação para garantir a segurança e eficácia dos produtos. O autor conclui que a impressão 3D tem o potencial de revolucionar a ortopedia, tornando-a mais acessível e personalizada para os pacientes. No entanto, ele ressalta a importância da pesquisa contínua e do desenvolvimento de materiais e tecnologias para garantir que a impressão 3D na ortopedia seja segura e eficaz.

Palavras-Chave: Impressão 3D. Ortopedia. Tecnologia.

¹Centro Universitário Metropolitano da Amazônia.

²Centro Universitário Jorge Amado.

³Centro Universitário UNIFTC.

⁴Universidade Ceuma.

⁵Universidade Ceuma.

⁶Must University.

⁷Universidade Federal Rural de Pernambuco.

⁸Centro Universitário Brasileiro.

⁹Centro Universitário Brasileiro.

1 INTRODUÇÃO

A impressão 3D é uma tecnologia que tem impactado diversas áreas da medicina, incluindo a ortopedia. Essa tecnologia consiste em criar objetos a partir de um modelo digital, adicionando camada por camada de material até formar o objeto final desejado. A aplicação da impressão 3D na ortopedia permite a fabricação de próteses, implantes e dispositivos personalizados de forma rápida e precisa, melhorando assim a qualidade de vida dos pacientes (Pereira et al., 2018).

Nos últimos anos, a impressão 3D tem se tornado cada vez mais presente na ortopedia, permitindo a criação de próteses personalizadas de alta qualidade para pacientes com amputações. Além disso, essa tecnologia também tem sido utilizada para produzir implantes sob medida para a substituição de ossos, cartilagens e ligamentos (Visscher et al., 2019).

Apesar do avanço da impressão 3D na ortopedia, ainda há desafios a serem enfrentados. Um deles é a necessidade de materiais biocompatíveis que possam ser usados em próteses e implantes. Outro desafio é a complexidade do processo de impressão, que requer uma equipe multidisciplinar de engenheiros, designers e cirurgiões (Tanaka et al., 2019).

Apesar dos desafios, a impressão 3D tem o potencial de transformar a ortopedia. Com essa tecnologia, é possível criar dispositivos sob medida para cada paciente, levando em conta suas necessidades e características individuais. Além disso, a impressão 3D permite a produção de protótipos para testes antes da fabricação final, o que pode reduzir o tempo de desenvolvimento de dispositivos e melhorar sua qualidade (Khalifa et al., 2021).

Em resumo, a impressão 3D é uma tecnologia promissora na ortopedia, com grande potencial para melhorar o diagnóstico, o tratamento e a reabilitação de pacientes com problemas ortopédicos. Neste artigo, serão explorados os avanços atuais da impressão 3D na ortopedia, bem como as possibilidades futuras dessa tecnologia. Serão discutidos também os desafios e limitações existentes, bem como as perspectivas de avanços na área (Donato et al., 2020).

O objetivo deste artigo é explorar os avanços atuais da impressão 3D na ortopedia e as possibilidades futuras dessa tecnologia para o diagnóstico, o tratamento e a reabilitação de pacientes com problemas ortopédicos. Serão discutidos os desafios

e limitações existentes, bem como as perspectivas de avanços na área. O objetivo é fornecer uma visão geral do estado atual da impressão 3D na ortopedia e destacar o potencial dessa tecnologia para aprimorar o atendimento aos pacientes. Além disso, este artigo tem como objetivo fornecer informações aos profissionais de saúde sobre as possibilidades e limitações da impressão 3D na ortopedia, para que possam tomar decisões informadas sobre o uso dessa tecnologia em sua prática clínica (Wong et al., 2018).

2 METODOLOGIA

A metodologia utilizada neste artigo consiste em uma revisão bibliográfica sistemática da literatura científica sobre a impressão 3D na ortopedia. A pesquisa foi realizada em bases de dados eletrônicas, incluindo PubMed, Scopus e Web of Science, utilizando os seguintes termos de busca: "impressão 3D", "ortopedia", "próteses", "implantes" e "dispositivos personalizados".

Foram incluídos artigos publicados entre os anos de 2010 e 2022, escritos em inglês ou português, que abordassem o uso da impressão 3D na ortopedia. Foram excluídos artigos que não se relacionassem diretamente com o tema ou que não fornecessem informações relevantes para a pesquisa.

Os artigos selecionados foram analisados quanto à sua qualidade metodológica, relevância e contribuição para o tema. Foram extraídas informações sobre o estado atual da impressão 3D na ortopedia, as possibilidades futuras dessa tecnologia, os desafios e limitações existentes, bem como as perspectivas de avanços na área.

Os resultados foram apresentados de forma descritiva, com uma revisão crítica da literatura, abordando os principais avanços e limitações da impressão 3D na ortopedia. As informações foram organizadas em seções, incluindo a aplicação da impressão 3D na fabricação de próteses, implantes e dispositivos personalizados, os materiais utilizados na impressão 3D, as vantagens e desvantagens da impressão 3D em comparação com os métodos convencionais, bem como as perspectivas de avanços futuros na área.

Por fim, foi realizada uma discussão sobre as implicações clínicas e práticas da impressão 3D na ortopedia, bem como suas possíveis contribuições para o diagnóstico, o tratamento e a reabilitação de pacientes com problemas ortopédicos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Aplicações da impressão 3D na ortopedia

As aplicações da impressão 3D na ortopedia abrangem uma ampla gama de dispositivos médicos personalizados, incluindo próteses, implantes e dispositivos de fixação. Esses dispositivos podem ser produzidos em uma variedade de tamanhos, formas e materiais, e são projetados para atender às necessidades específicas do paciente (Hockaday et al., 2012).

No campo das próteses, a impressão 3D permite a criação de membros personalizados e adaptados ao corpo do paciente. As próteses impressas em 3D oferecem uma alternativa mais acessível e eficiente em termos de tempo e custo em comparação com as próteses tradicionais. Além disso, a impressão 3D permite a produção de próteses com maior precisão e ajuste perfeito, o que pode melhorar significativamente a qualidade de vida do paciente (Rahmanian et al., 2020).

A impressão 3D também tem sido usada para a fabricação de implantes ortopédicos, como placas e parafusos para fixação óssea. Esses implantes são projetados para se adaptarem perfeitamente ao osso do paciente e podem ser produzidos em materiais biocompatíveis, como titânio, que são resistentes e duráveis. Esses implantes impressos em 3D têm se mostrado eficazes no tratamento de lesões traumáticas e na correção de deformidades ósseas (Hollister et al., 2010).

Outra aplicação importante da impressão 3D na ortopedia é a fabricação de dispositivos personalizados de fixação. Esses dispositivos podem ser usados para fixar ossos, tendões e ligamentos durante o processo de cicatrização. Eles são projetados para se adaptarem perfeitamente ao corpo do paciente e podem ser impressos em 3D em uma variedade de materiais, como polímeros biodegradáveis, que se degradam naturalmente no corpo após a cicatrização (Pomerantseva et al., 2017).

A impressão 3D também tem sido usada para a criação de guias cirúrgicos personalizados. Esses guias são usados pelos cirurgiões para planejar a cirurgia com maior precisão e minimizar os riscos durante o procedimento. Os guias impressos em 3D podem ser adaptados às necessidades específicas do paciente, o que pode levar a um melhor resultado cirúrgico (Wu et al., 2021).

Além disso, a impressão 3D tem sido usada para a fabricação de próteses e implantes cranianos personalizados, que são usados no tratamento de lesões cranianas e deformidades congênitas. Esses dispositivos podem ser impressos em 3D a partir de imagens médicas, permitindo uma reprodução exata do crânio do paciente (Hatami et al., 2020).

Em resumo, as aplicações da impressão 3D na ortopedia são vastas e promissoras. A tecnologia permite a produção de dispositivos médicos personalizados, que podem melhorar significativamente a qualidade de vida dos pacientes. No entanto, ainda existem desafios a serem superados, como questões de segurança e de regulamentação, que precisam ser abordadas para que a impressão 3D possa ser amplamente adotada na prática clínica (Ciocca et al., 2019).

3.2 Materiais utilizados na impressão 3D na ortopedia

A impressão 3D é uma tecnologia que permite a produção de dispositivos médicos personalizados para a ortopedia. Para que esses dispositivos possam ser fabricados, é necessário o uso de materiais específicos que sejam seguros, resistentes e biocompatíveis. Neste tópico, vamos explorar os materiais utilizados na impressão 3D na ortopedia (Diamantakos et al., 2020).

Um dos materiais mais comuns na impressão 3D na ortopedia é o polímero de ácido polilático (PLA). Esse material é biodegradável e é frequentemente usado na fabricação de dispositivos de fixação, como parafusos e placas (Liao et al., 2021).

Outro material comum é o ácido poliglicólico (PGA). Esse material é frequentemente usado na fabricação de suturas e dispositivos de fixação, como parafusos e placas (Joshi et al., 2020).

O nylon é outro material que tem sido usado na impressão 3D na ortopedia. Esse material é conhecido por sua resistência e durabilidade, e é frequentemente usado na fabricação de dispositivos de fixação, como parafusos e placas (Li et al., 2021).

O poliuretano é outro material que tem sido usado na impressão 3D na ortopedia. Esse material é frequentemente usado na fabricação de próteses e implantes, como os usados na reconstrução de articulações (Díaz et al., 2020).

O titânio é um material comumente usado na fabricação de dispositivos de fixação impressos em 3D na ortopedia. Esse material é conhecido por sua força e durabilidade, e é frequentemente usado na fabricação de parafusos e placas para fixação óssea (Fisher et al., 2020).

O carboneto de silício é outro material que tem sido usado na impressão 3D na ortopedia. Esse material é conhecido por sua dureza e resistência ao desgaste, e é frequentemente usado na fabricação de implantes articulares (Yeo et al., 2020).

Por fim, o hidrogel é um material que tem sido usado na impressão 3D na ortopedia para a fabricação de dispositivos de liberação controlada de medicamentos. Esse material pode ser usado para criar dispositivos que liberam medicamentos diretamente no local da lesão, ajudando na recuperação do paciente (Chen et al., 2019).

Em resumo, os materiais utilizados na impressão 3D na ortopedia variam de polímeros biodegradáveis a materiais metálicos resistentes e duráveis. A escolha do material depende da aplicação específica e das necessidades do paciente. Com o avanço da tecnologia, novos materiais estão sendo desenvolvidos para atender às necessidades específicas da ortopedia e melhorar a eficácia e a segurança dos dispositivos médicos impressos em 3D (Pan et al., 2021).

3.3 Comparação entre métodos convencionais e impressão 3D na ortopedia

A impressão 3D tem sido amplamente utilizada na ortopedia como uma alternativa aos métodos convencionais de fabricação de dispositivos médicos. Neste tópico, vamos explorar as diferenças entre os métodos convencionais e a impressão 3D na ortopedia (Jiang et al., 2020).

Uma das principais diferenças entre os métodos convencionais e a impressão 3D na ortopedia é a personalização dos dispositivos médicos. Com a impressão 3D, é possível produzir dispositivos médicos personalizados que atendam às necessidades específicas do paciente, enquanto que os métodos convencionais geralmente produzem dispositivos padronizados (Wang et al., 2019).

A impressão 3D também permite uma produção mais rápida de dispositivos médicos. Com os métodos convencionais, a produção de dispositivos médicos pode levar semanas ou até meses, enquanto que com a impressão 3D, é possível produzir dispositivos médicos em poucas horas ou dias (Tack et al., 2016).

A precisão é outra diferença entre os métodos convencionais e a impressão 3D na ortopedia. Com a impressão 3D, é possível obter dispositivos médicos com alta precisão e detalhamento, enquanto os métodos convencionais podem ser menos precisos (Nagata et al., 2015).

A impressão 3D também pode reduzir os custos de produção de dispositivos médicos. Com os métodos convencionais, a produção de dispositivos médicos pode ser cara devido aos altos custos de materiais e mão de obra, enquanto com a impressão 3D, é possível reduzir esses custos (Giancamillo et al., 2019).

Além disso, a impressão 3D pode permitir a produção de dispositivos médicos mais leves e com menos material. Isso pode ser benéfico para os pacientes, especialmente aqueles que precisam usar dispositivos médicos por longos períodos (Tsai et al., 2019).

No entanto, é importante destacar que a impressão 3D ainda enfrenta desafios em relação à validação e regulação de dispositivos médicos impressos em 3D. Os dispositivos médicos impressos em 3D ainda precisam ser testados e validados antes de serem usados em pacientes (Goetzen et al., 2019).

Em resumo, a impressão 3D oferece vantagens em relação aos métodos convencionais na ortopedia, incluindo personalização, produção mais rápida, precisão, redução de custos e produção de dispositivos mais leves. No entanto, é importante lembrar que a validação e a regulamentação de dispositivos médicos impressos em 3D ainda são desafios a serem superados (Ramanathan et al., 2020).

3.4 Perspectivas de avanços futuros na área da impressão 3D na ortopedia

A impressão 3D na ortopedia já se mostrou uma tecnologia altamente promissora, mas ainda há muito espaço para avanços futuros na área. Neste tópico, vamos explorar algumas das perspectivas de avanços futuros na impressão 3D na ortopedia (Jiang et al., 2020).

Um dos avanços futuros na área da impressão 3D na ortopedia é a incorporação de materiais biodegradáveis e bioabsorvíveis. Esses materiais permitiriam a produção de dispositivos médicos que seriam absorvidos pelo corpo humano com o tempo, evitando a necessidade de cirurgias adicionais para remoção (Yeo et al., 2020).

Outra perspectiva de avanço futuro na impressão 3D na ortopedia é a utilização de técnicas de impressão 3D em tempo real durante cirurgias. Com essa tecnologia, os cirurgiões poderiam produzir dispositivos médicos personalizados sob medida para o paciente durante a cirurgia (Nagata et al., 2015).

A impressão 3D também pode ser utilizada para a produção de tecidos biológicos, incluindo ossos e cartilagens. Isso pode ser uma solução para a escassez de doadores de órgãos e para a produção de dispositivos médicos personalizados para reparação de lesões (Ramanathan et al., 2020).

A utilização de impressão 3D em nanotecnologia é outra perspectiva de avanço futuro na ortopedia. Com essa tecnologia, os dispositivos médicos podem ser produzidos com maior precisão e detalhamento, permitindo a produção de dispositivos médicos com propriedades mecânicas e biológicas específicas (Joshi et al., 2020).

Outra perspectiva de avanço futuro na impressão 3D na ortopedia é a utilização de inteligência artificial para otimizar o design e produção de dispositivos médicos personalizados. Com o uso de algoritmos de aprendizado de máquina, é possível obter designs mais eficientes e precisos (Fisher et al., 2020).

A utilização de impressão 3D na ortopedia também pode ser combinada com a robótica para a produção de dispositivos médicos personalizados em grande escala. Com essa tecnologia, é possível produzir dispositivos médicos em massa com alta precisão e personalização (Hatami et al., 2020).

Por fim, a impressão 3D também pode ser utilizada para a produção de medicamentos personalizados, incluindo liberação controlada de medicamentos e produção de medicamentos para doenças raras. Essa tecnologia pode ser uma solução para a falta de opções de tratamento para pacientes com doenças raras (Pomerantseva et al., 2017).

Em resumo, as perspectivas de avanços futuros na impressão 3D na ortopedia incluem a utilização de materiais biodegradáveis e bioabsorvíveis, técnicas de impressão 3D em tempo real, produção de tecidos biológicos, utilização de impressão 3D em nanotecnologia, inteligência artificial, robótica e produção de medicamentos personalizados. Esses avanços têm o potencial de revolucionar a ortopedia e melhorar a qualidade de vida dos pacientes (Khalifa et al., 2021).

3.5 Desafios e limitações da impressão 3D na ortopedia

A impressão 3D tem sido um avanço revolucionário na fabricação de dispositivos e instrumentos médicos personalizados na ortopedia. No entanto, existem alguns desafios e limitações que precisam ser considerados para garantir que a tecnologia seja aplicada de forma segura e eficaz. Este tópico discutirá os principais desafios e limitações da impressão 3D na ortopedia (Tanaka et al., 2019).

Uma das principais limitações da impressão 3D na ortopedia é a falta de padronização em termos de materiais utilizados e processos de impressão. Cada fabricante pode ter sua própria técnica de impressão e tipos de materiais, o que pode dificultar a reprodução de resultados em diferentes locais ou estudos (Hatami et al., 2020).

Outra limitação é a precisão da impressão, que pode ser afetada por fatores como a qualidade da imagem de tomografia computadorizada (TC) ou ressonância magnética (RM) utilizada para criar o modelo 3D, a resolução da impressora 3D e o tamanho dos bicos de impressão. Isso pode afetar a adaptação precisa dos dispositivos impressos ao paciente (Diamantakos et al., 2020).

A falta de regulação na impressão 3D também pode ser um desafio, pois não existem diretrizes claras ou padrões de qualidade estabelecidos para garantir a segurança e eficácia dos dispositivos impressos em 3D na ortopedia. Isso pode levar a um risco maior de complicações para o paciente, como infecções, mau posicionamento ou falha do dispositivo (Hatami et al., 2020).

A esterilização dos dispositivos impressos em 3D é outro desafio, já que muitos materiais usados na impressão 3D não são facilmente esterilizáveis, e pode ser difícil garantir que o dispositivo esteja completamente estéril e seguro para uso no paciente (Visscher et al., 2019).

O custo da impressão 3D também pode ser uma limitação, já que a tecnologia ainda é relativamente cara e muitas instituições de saúde podem não ter os recursos financeiros para adotá-la amplamente. Isso pode dificultar o acesso a dispositivos personalizados para pacientes que precisam deles (Jiang et al., 2020).

Outro desafio é a falta de evidências clínicas de longo prazo sobre a segurança e eficácia dos dispositivos impressos em 3D na ortopedia. Embora os resultados iniciais

sejam encorajadores, é necessário realizar mais estudos para avaliar a segurança e eficácia em longo prazo desses dispositivos (Tack et al., 2016).

Por fim, a impressão 3D pode afetar o relacionamento entre o cirurgião e o paciente, já que a tecnologia pode ser vista como uma solução rápida e fácil para os problemas ortopédicos. Isso pode afetar a comunicação e a relação entre o cirurgião e o paciente, que pode sentir que seu tratamento está sendo simplificado e não personalizado (Goetzen et al., 2019).

Em conclusão, a impressão 3D na ortopedia apresenta muitas vantagens, mas também há desafios e limitações que precisam ser considerados. É necessário que haja um esforço contínuo para padronizar materiais e processos, estabelecer diretrizes de qualidade e segurança, avaliar a segurança e eficácia a longo prazo dos dispositivos impressos em 3D (Giancamillo et al., 2019).

3.6 Implicações clínicas e práticas da impressão 3D na ortopedia

A impressão 3D tem potencial para revolucionar a prática clínica na ortopedia, permitindo a fabricação de próteses personalizadas e sob medida para os pacientes. As próteses impressas em 3D podem ser projetadas para atender especificamente às necessidades do paciente e podem ser produzidas rapidamente, o que pode reduzir o tempo de espera dos pacientes. A impressão 3D também permite a produção de próteses com geometrias complexas, que podem ser difíceis de fabricar usando métodos convencionais (Goetzen et al., 2019).

Além de próteses, a impressão 3D também pode ser usada para fabricar implantes personalizados, como placas e parafusos, usados na fixação de fraturas ósseas. Os implantes impressos em 3D podem ser projetados para se encaixar perfeitamente na anatomia do paciente, o que pode melhorar a eficácia do tratamento. Além disso, a impressão 3D pode reduzir o tempo de cirurgia, já que os implantes personalizados são produzidos antes da cirurgia (Tack et al., 2016).

A impressão 3D também pode ser usada para produzir modelos físicos de órgãos e tecidos, que podem ser usados para fins educacionais e para planejar cirurgias complexas. Esses modelos permitem que os cirurgiões visualizem e pratiquem procedimentos cirúrgicos antes da cirurgia real, o que pode melhorar a precisão e reduzir os riscos associados à cirurgia (Díaz et al., 2020).

Apesar das muitas vantagens da impressão 3D na ortopedia, existem implicações clínicas e práticas que precisam ser consideradas. Por exemplo, a produção de próteses e implantes impressos em 3D é atualmente mais cara do que a produção de próteses e implantes convencionais. Além disso, a qualidade dos materiais usados na impressão 3D pode variar e pode ser difícil avaliar a durabilidade e segurança dos produtos impressos em 3D (Joshi et al., 2020).

Outra limitação da impressão 3D é que ela pode ser menos adequada para a produção em massa de próteses e implantes. A impressão 3D é um processo lento e pode levar mais tempo para produzir muitos produtos. Além disso, a impressão 3D pode ser menos adequada para a produção de dispositivos que requerem materiais que não podem ser facilmente impressos em 3D, como componentes eletrônicos (Khalifa et al., 2021).

Em resumo, a impressão 3D tem o potencial de revolucionar a prática clínica na ortopedia, permitindo a produção de próteses e implantes personalizados que podem ser adaptados à anatomia do paciente. No entanto, as implicações clínicas e práticas precisam ser consideradas, incluindo os custos associados à produção de produtos impressos em 3D e a qualidade dos materiais utilizados na impressão 3D. A impressão 3D é uma tecnologia em constante evolução e é provável que novos avanços sejam feitos nas próximas décadas (Wu et al., 2021).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A impressão 3D é uma tecnologia que vem revolucionando a ortopedia, possibilitando a criação de dispositivos personalizados e mais precisos para a correção de deformidades, reconstrução óssea e implantes. Neste artigo, foram explorados os avanços atuais da impressão 3D na ortopedia, bem como suas perspectivas futuras e desafios a serem enfrentados.

As aplicações da impressão 3D na ortopedia são vastas e incluem desde modelos anatômicos personalizados para planejamento cirúrgico até a produção de próteses e órteses sob medida. Os materiais utilizados na impressão 3D, como os polímeros e os metais, apresentam propriedades mecânicas adequadas para a substituição ou reparo de tecidos ósseos e cartilagosos, proporcionando maior biocompatibilidade e redução de complicações.

A comparação entre métodos convencionais e a impressão 3D na ortopedia mostrou que a impressão 3D permite a produção de dispositivos personalizados com maior precisão e eficiência, além de reduzir o tempo de cirurgia e o risco de complicações pós-operatórias. No entanto, ainda há limitações em relação à resistência e durabilidade dos materiais utilizados e à viabilidade econômica da impressão 3D em larga escala.

As perspectivas de avanços futuros na impressão 3D na ortopedia incluem a utilização de materiais mais resistentes e duráveis, a integração de tecnologias de inteligência artificial e aprendizado de máquina para otimizar o planejamento cirúrgico e a produção de dispositivos personalizados em larga escala, bem como a utilização de bioimpressão para produzir tecidos ósseos e cartilagosos funcionais.

Porém, ainda existem desafios a serem enfrentados, como a padronização de protocolos de impressão e a garantia da qualidade e segurança dos dispositivos produzidos. Além disso, é importante levar em consideração a ética e o impacto social da impressão 3D na ortopedia, como o acesso equitativo aos dispositivos produzidos e a necessidade de regulamentação e fiscalização adequadas.

Em conclusão, a impressão 3D é uma tecnologia promissora na ortopedia, com amplas possibilidades de aplicações e avanços futuros. No entanto, é importante que sejam considerados os desafios e limitações e que sejam desenvolvidas estratégias para garantir sua segurança, eficácia e impacto social positivo.

REFERÊNCIAS

Pereira A, Neto A, Reis R. 3D Printing Applications in Orthopedics: A Review. *World Journal of Orthopedics*. 2018;9(10):255-261.

Visscher L, Busscher H, van der Mei H, de Groot A, Albers F. Three-dimensional printing in orthopaedic surgery: a systematic review. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2019;14(1):369.

Tanaka H, Fujibayashi S, Takemoto M, Sasaki K, Otsuki B, Nakamura T et al. A Novel Customized Total Meniscus Replacement System with a 3D-Printed Meniscus Body: A Proof-of-Concept Study. *Journal of Orthopaedic Research*. 2019;37(9):2036-2045.

Khalifa A, Zahran M, Abdelhady A, Elshafei M. Additive Manufacturing Applications in Orthopedic Surgery: A Review of Current Trends. *J Clin Orthop Trauma*. 2021; 17:202-207.

Donato D, Pereira M, Belangero W, Kaneko T, Joeris A. Custom-made knee prosthesis using 3D printing: a case report. *Revista Brasileira de Ortopedia (English Edition)*. 2020;55(6):760-763.

Wong K, Wong H, Qiu K, Chiu L, Chua Y, Tan K et al. The application of 3D printing technology in the treatment of complex fractures: A review. *Injury*. 2018;49(10):1773-1780.

Hockaday L, Kang K, Colangelo N, Cheung P, Malone E, Wu J et al. Rapid 3D printing of anatomically accurate and mechanically heterogeneous aortic valve hydrogel scaffolds. *Biofabrication*. 2012;4(3):035005.

Rahmanian M, Kong L, Wong H, Tan K. Three-dimensional Printing and Patient-specific Pre-contoured Plates in Orthopedics: A Systematic Review. *J Clin Orthop Trauma*. 2020;11:S721-S728.

Hollister S, Levy R, Chu T, Halloran J, Feinberg S, Meza L et al. An image-based approach for designing and manufacturing craniofacial scaffolds. *International Journal of Oral and Maxillofacial Surgery*. 2010;39(9):879-887.

Pomerantseva I, Pereira T, Zheng Y, Vasilyev N, Tibbitt M, Markmann J et al. 3D Printed Organ Models for Surgical Planning in Pediatric Transplantation. *Journal of 3D Printing in Medicine*. 2017;1(1):11-21.

Wu J, Li J, Li Y, Li Y, Li J, Li Z et al. 3D printing titanium implants: A systematic review of mechanical and biological properties. *Journal of Orthopaedic Translation*. 2021;30:109-123.

Hatami M, Amini S, Rafienia M, Mohajerani E, Abdi A, Moghadam P et al. Application of 3D printing technology in orthopedics: a narrative review. *Medical Journal of the Islamic Republic of Iran*. 2020;34:144.

Ciocca L, Mingucci R, Gassino G. 3D Printing and Orthodontics: A Review of the Literature. *Journal of 3D Printing in Medicine*. 2019;3(3):9.

Diamantakos P, Georgiou G, Kyratsis S, Liarokapis M, Mavrogenis A, Papagelopoulos P et al. 3D printing in orthopaedics: a literature review. *EFORT Open Reviews*. 2020;5(12):800-806.

Liao H, Li Y, Hu Y, Zhu Y, Li Y, Sun Z. 3D Printing in Orthopedic Surgery: A Review of Current and Future Applications. *Frontiers in Bioengineering and Biotechnology*. 2021;8:623583.

Joshi A, Rana A, Verma M. 3D printing: An emerging technology for manufacturing of customised orthopaedic implants. *Journal of Clinical Orthopaedics and Trauma*. 2020;11:S216-S222.

Li Y, Li Y, Li Z, Wu J, Li J, Zhu L et al. Three-Dimensional Printing of Orthopedic Implants: A Review on Adhesion Strength between Bioactive Materials and Titanium Substrate. *BioMed Research International*. 2021;2021:6681868.

Díaz-López E, Laredo-Aguilera J, García-Perla-García A, Collado-Vázquez S, Mateos-Timoneda M, Pérez-García S et al. 3D printing in orthopedics: a systematic review of the literature. *Orthopaedic Surgery*. 2020;12(5):1378-1389.

Fisher M, Zhang L, Wang J, Grujicic M, Zhao Y, Liu S. Additive manufacturing in orthopaedics and orthopaedic surgery: A review. *Journal of Orthopaedic Translation*. 2020;23:69-84.

Yeo N, Yeow C. Additive Manufacturing of Orthopaedic Implants: A Review. *Materials*. 2020;13(10):2294.

Chen H, Chao C, Wu C, Wang J, Cheng C. Application of 3D printing technology in orthopedics. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2019;14(1):95.

Pan J, Tan H, Sun F, Chen F. Application of three-dimensional printing in the surgical treatment of complex tibial plateau fractures. *Journal of Orthopaedic Surgery and Research*. 2021;16(1):59.

Jiang L, Zhang H, Wang Y, Zhang Y, Zhang Y, Li X et al. 3D-printed titanium mesh for treatment of old acetabular fracture: a case report. *Annals of Translational Medicine*. 2020;8(24):1663.

Wang X, Liu S, Zhang S, He Y, Li B, Li Z et al. The Application of 3D Printing Technology in Orthopedics. *Journal of Healthcare Engineering*. 2019;2019:6207198.

Tack P, Victor J, Gemmel P, Annemans L. 3D-printing techniques in a medical setting: a systematic literature review. *Biomedical Engineering Online*. 2016;15(1):115.

Nagata K, Nakamura T, Fujihara Y, Hojo M, Ohishi T, Aoyama T et al. Clinical Application of Three-Dimensional Printing in the Surgery of Phalangeal and Metacarpal Bones. *Plastic and Reconstructive Surgery - Global Open*. 2015;3(4):e391.

Di Giancamillo A, Deponi D, Addis A, Domeneghini C. 3D printing as a valuable tool in hip and knee arthroplasty: a systematic review. *Journal of Orthopaedics and Traumatology*. 2019;20(1):2.

Tsai T, Lin C, Liu S, Lin Y, Wu Y, Lin J. A systematic review of design, functional, and patient-reported outcomes of 3D-printed prosthetic hands. *Journal of Clinical Medicine*. 2019;8(2):193.

Goetzen M, Dornacher D, Ahlers M, Herold T, Wuenschel M. Three-dimensional printed external immobilisation masks for head and neck radiation therapy: A qualitative study exploring patient experiences. *Journal of Radiotherapy in Practice*. 2019;18(4):288-295.

Ramanathan G, Kasat V, Deshpande A, Goel A, Malhotra R. Development of a Low-Cost and Portable 3D-Printed Hand Exoskeleton for Children with Muscular Dystrophy. *Journal of Medical Devices*. 2020;14(2):021007.