

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL NO PLANEJAMENTO DA CIRURGIA ORTOGNÁTICA: UMA REVISÃO INTEGRATIVA

ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN ORTHOGNATHIC SURGERY PLANNING: AN INTEGRATIVE REVIEW

JULIA VITÓRIA DE ARAÚJO MEDEIROS^{1*}, NÍKOLAS PAGANINI ALVES DE OLIVEIRA¹, THÁILLA RAIANNE GOMES DE OLIVEIRA¹, EDUARDA GOMES ONOFRE DE ARAÚJO², BRUNO RAFAEL SOARES DA SILVA¹, LETÍCIA REGINA MARQUES BESERRA¹, CARMEM SILVIA LAUREANO DALLE PIAGGE³, CLÁUDIA BATISTA MÊLO⁴

1. Discente do curso de graduação em Odontologia da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Paraíba, Brasil; 2. Mestranda do Programa de Pós-graduação em Odontologia, Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Paraíba, Brasil; 3. Professora do Departamento de Odontologia Restauradora da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Paraíba, Brasil. Doutora em Odontologia (Prótese Dentária) pela Universidade de São Paulo (USP); 4. Professora do Departamento de Clínica e Odontologia Social da Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa, Paraíba, Brasil. Doutorado em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

* Rua José Batista de Lucena/89, Mangabeira, João Pessoa, Paraíba, Brasil. CEP: 58057-032. juliavitoria.medeiros23@gmail.com

Recebido em 30/10/2023. Aceito para publicação em 07/11/2023

RESUMO

A cirurgia ortognática é um procedimento complexo e irreversível utilizado principalmente para corrigir problemas de má oclusão dentária e harmonia facial. Para garantir seu sucesso, é crucial um planejamento minucioso, o que representa um desafio para os cirurgiões bucomaxilofaciais. A inteligência artificial (IA) tem se demonstrado uma grande facilitadora do plano cirúrgico. O propósito desta revisão é realizar uma análise abrangente sobre como a IA pode contribuir para o planejamento da cirurgia ortognática. Esta é uma revisão integrativa da literatura realizada através de uma estratégia de busca nas seguintes bases: PubMed, Scopus, ScienceDirect e Web of Science. A pesquisa foi concretizada mediante a utilização dos descritores "Orthognathic surgery", "Orthognathic Surgical Procedures", "Artificial intelligence", "Planning" e "Strategic Planning" com uso dos operadores Booleanos "AND" e "OR". Foram selecionados estudos primários publicados a partir do ano de 2018 que atenderam aos critérios de inclusão e exclusão adotados, totalizando 13 publicações. As principais contribuições da IA identificadas foram: Diagnóstico por imagem; Análise pré-operatória e possíveis prognósticos; e Facilitação do plano cirúrgico. Conclui-se que a IA, através de seus subcampos de aprendizagem, auxilia significativamente no planejamento da cirurgia ortognática.

PALAVRAS-CHAVE: Cirurgia ortognática, procedimentos cirúrgicos ortognáticos, inteligência artificial, planejamento, planejamento estratégico.

ABSTRACT

Orthognathic surgery is a complex and irreversible procedure used mainly to correct problems of dental malocclusion and facial harmony. To ensure its success, meticulous planning is crucial, which represents a challenge for oral and maxillofacial surgeons. Artificial intelligence (AI) has proven to be a great facilitator of surgical planning. The purpose of this review is to carry out a comprehensive analysis of how AI can contribute to the planning of orthognathic surgery. This is an integrative literature review carried out using a search strategy in the

following databases: PubMed, Scopus, ScienceDirect and Web of Science. The search was carried out using the descriptors "Orthognathic surgery", "Orthognathic Surgical Procedures", "Artificial intelligence", "Planning" and "Strategic Planning" using the Boolean operators "AND" and "OR". Primary studies published from 2018 onwards that met the inclusion and exclusion criteria adopted were selected, totaling 13 publications. The main contributions of AI identified were: Diagnostic imaging; Preoperative analysis and possible prognosis; and Facilitation of the surgical plan. It can be concluded that AI, through its learning subfields, significantly helps in the planning of orthognathic surgery.

KEYWORDS: Orthognathic surgery, orthognathic surgical procedures, artificial intelligence, planning, strategic planning.

1. INTRODUÇÃO

A aparência facial e o grau de atratividade podem exercer impacto sobre como uma pessoa é avaliada e percebida em termos de sua aparência. A ocorrência de deformidades e anomalias faciais pode ter um impacto negativo na estética e no bem-estar social do indivíduo. Logo, a aparência facial é considerada um aspecto importante que contribui para a melhoria da qualidade de vida de cada pessoa¹. Um dos diversos procedimentos odontológicos que foram desenvolvidos ao longo do tempo para tentar corrigir tais deformidades foi a denominada "orthognathic surgery" (OGS) do inglês, cirurgia ortognática, um procedimento cirúrgico extremamente invasivo que busca corrigir problemas de má oclusão dentária e melhorar a harmonia facial, envolvendo alterações mandibulares².

Por se tratar de uma operação extremamente complexa e irreversível, a OGS precisa ser minuciosamente bem planejada³. Por isso, é desafiador para o cirurgião bucomaxilofacial mensurar e avaliar as intervenções para chegar não somente em um resultado que satisfaça a percepção estética subjetiva do paciente, mas também os objetivos funcionais inerentes a esse procedimento⁴.

Para auxiliar o planejamento da OGS, o uso de tecnologias com imagens e modelos 3D tem representado um avanço significativo para visualização da complexidade das deformidades faciais, isso possibilita a criação de um planejamento cirúrgico virtual, tornando a OGS mais eficiente. Com essa abordagem, os cirurgiões-dentistas podem obter uma visão tridimensional das estruturas anatômicas, resultando em melhorias nos resultados do tratamento³. As variáveis desses dispositivos podem ser melhor adquiridas e calculadas através da inteligência artificial. Considerando que o ato de fazer um planejamento pré-operatório preciso é essencial para o desfecho de uma OGS, o conhecimento e a experiência clínica do cirurgião podem ser correlacionados com esta nova tecnologia para evitar possíveis erros^{3,4}.

A Inteligência artificial (IA) é um ramo da tecnologia atual que utiliza sistemas como "machine learning" (ML) e "deep learning" (DL) para ajudar máquinas a emular a cognição humana, se utilizando de algoritmos inteligentes e grandes bases de dados para entender padrões a fim de conceder previsões de possíveis variáveis³. A primeira IA na área da saúde teve início no século XX, década de 1980 e se tratava de um sistema, o MYCIN, treinado para diagnosticar infecções bacterianas. Desde então a IA vem progredindo no diagnóstico, no planejamento e no tratamento das mais diversas doenças⁵.

O ML, subcampo da IA, permite que as máquinas aprendam e evoluam a partir dos dados adicionados em seu algoritmo, possibilitando previsões e resolução de problemas sem a necessidade de um ser humano, o que melhora significativamente o diagnóstico auxiliado por computador³. Um dos mais recentes avanços nas tecnologias que envolvem a IA é o DL, uma rede neural artificial que segue os padrões do cérebro humano para fornecer resultados assertivos, podendo obter informações clinicamente importantes para o manejo da OGS⁴.

O rápido desenvolvimento da IA em cirurgias ortognáticas e o conseqüente surgimento de novos estudos relacionados a elas, juntamente com a necessidade de desenvolver uma visão mais ampla acerca de sua colaboração em tais procedimentos, motivaram a realização deste estudo. Visto que, ao se utilizar do ML e DL associados ao imageamento 3D, a IA demonstrou elevados níveis de acurácia e precisão na identificação, diagnóstico, avaliação da necessidade e das demandas da OGS³. Com isso, esta revisão de literatura visa realizar uma análise abrangente acerca de como a IA pode contribuir na realização do planejamento da OGS.

2. MATERIAL E MÉTODOS

Este estudo se configura como uma revisão integrativa da literatura que busca reunir e sintetizar os dados encontrados a fim de responder à pergunta de pesquisa. Sua aplicação abrange o mapeamento de evidências, tanto para a tomada de decisões práticas, quanto para fins de pesquisa.

Para elaboração da pesquisa, foram determinadas as seguintes etapas: 1) Identificação da temática de interesse; 2) Formulação da pergunta norteadora: "Quais

são as contribuições da Inteligência Artificial para o planejamento da OGS?"; 3) Determinação dos termos de busca controlados; 4) Escolha das bases de dados; 5) Utilização dos operadores booleanos nas plataformas; 6) Definição dos critérios de inclusão e exclusão; 7) Seleção dos artigos mais relevantes e que atendiam aos critérios de inclusão e exclusão; 8) Leitura e obtenção das respostas à pergunta norteadora; e 9) Apresentação da revisão e síntese do conhecimento a partir de todas as informações extraídas na leitura.

Foram determinados os termos de busca controlados, selecionados a partir dos Descritores em Ciências da Saúde (DeCS) e Medical Subject Headings (MeSH), sendo eles: "Orthognathic surgery", "Orthognathic Surgical Procedures", "Artificial intelligence", "Planning" e "Strategic Planning", além dos seus termos alternativos. Utilizou-se, ainda, os operadores booleanos "AND" e "OR". A busca de estudos ocorreu no período de 07 de agosto a 4 de setembro nas bases de dados PubMed, Web of Science, Scopus e Science Direct.

Os critérios de inclusão foram determinados como: artigos disponíveis na íntegra; artigos relacionados ao tema; e artigos publicados nos últimos cinco anos. Enquanto os critérios de exclusão consistiram em: artigos anteriores a 2018; literatura cinzenta; cartas ao editor, editoriais, comentários, notas técnicas, capítulos de livros, teses, dissertações e estudos que não respondiam ao questionamento desta investigação.

A busca foi realizada por dois pesquisadores independentes que padronizaram a sequência de utilização dos termos de busca controlados, do formulário de busca avançada e dos cruzamentos nas bases de dados.

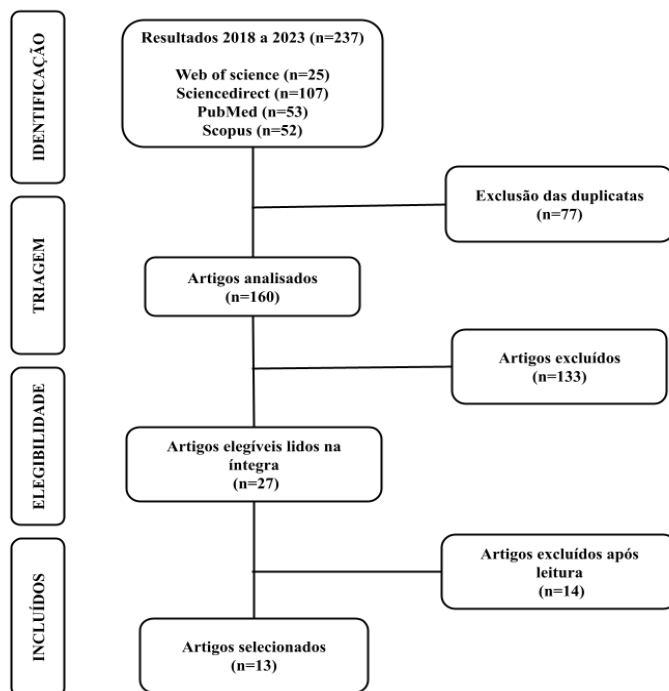


Figura 1. Fluxograma da seleção dos artigos incluídos na revisão (2023). Fonte: Autores (2023).

Os resultados obtidos foram comparados a fim de averiguar a existência de diferença para diagnóstico e correção de possível equívoco nesta etapa do estudo. A seleção dos estudos também foi realizada por dois

pesquisadores independentes, na qual houve a atuação de um terceiro revisor para a resolução dos possíveis conflitos.

Foram identificados 273 artigos, sendo eliminados 36 com o uso do filtro de tempo e 77 que estavam duplicados, o que totalizou 160 artigos para leitura de títulos e resumos. Após a leitura dos títulos e resumos, sendo aplicados os critérios de inclusão, foram selecionados 27 artigos para a leitura na íntegra. Ao final, foram incluídos na amostra desta revisão 13 artigos. A estratégia de seleção dos estudos está apresentada na Figura 1.

3. DESENVOLVIMENTO

Foram encontrados 13 estudos, sendo: 6 artigos na Scopus, 1 artigo na Web of Science, 3 artigos na ScienceDirect e 3 artigos na PubMed. Realizou-se a leitura integral dos artigos para obter uma visão geral da resposta ao problema da pesquisa.

Os estudos incluídos na amostra foram publicados durante os anos de 2018 (n=1; 7,69%), 2020 (n=1; 7,69%), 2021(n=3; 23,07%), 2022 (n=5; 38,46%), 2023 (n=3; 23,07%) e realizados no Brasil (n=1; 7,69%), Tailândia (n=1; 7,69%), Japão (n=1; 7,69%), Índia (n=1; 7,69%), Estados Unidos (n=3; 23,07%), China (n=2; 15,38%) e Coreia do Sul (n=4; 30,76%), em periódicos diferentes. Os estudos selecionados tiveram abordagem quantitativa, desdobrando-se nos seguintes métodos: transversal (n=7; 53,84%), longitudinal (n=1; 7,69%), retrospectivo (n=4; 30,76%) e de coorte (n=1; 7,69%).

As principais contribuições da IA foram identificadas e agrupadas em temáticas coincidentes a partir dos artigos selecionados que viabilizou a definição de três categorias temáticas: (1)Diagnóstico por imagem; (2)Análise pré-operatória e possíveis prognósticos; (3)Facilitação do plano cirúrgico.

Os dados extraídos foram alocados no Quadro 1, contendo: autores, ano de publicação, local, delineamento do estudo, objetivo, amostra e as contribuições em questão.

Quadro 1. Principais achados dos artigos selecionados.

Autores/ Ano/ País/ Base de dados/ Delineamento/A mostra	Título	“Quais são as contribuições da Inteligência Artificial para o planejamento da cirurgia ortognática?”
Jiang, FL; Guo, YT; Yang, C; Zhou, YM; Lin, YC; Cheng, FY; Quan, SQ; Feng, QC; Li, J. (2023); China; Web of Science; Transversal; 9870 cefalogramas.	Artificial intelligence system for automated landmark localization and analysis of cephalometry	A IA pode auxiliar na localização mais rápida e precisa dos pontos de referência na análise cefalométrica, o que é essencial para o diagnóstico ortodôntico, planejamento de tratamento e avaliação de resultados.
Shin, W.S.; Yeom, H.-G.; Lee, G.H.; Yun,	Deep learning based prediction of	A IA pode auxiliar atuando na análise conjunta de cefalogramas PA e LAT,

J.P.; Jeong, S.H.; Lee, J.H.; Kim, H.K.; Kim, B.C.; (2021); Coreia do Sul; Scopus; Transversal; cefalogramas de 840 pacientes.	necessity for orthognathic surgery of skeletal malocclusion using cephalogram in Korean individuals	extraíndo dados relevantes para a classificação esquelética do indivíduo, assim como realizando a avaliação da necessidade de OGS, dessa forma otimizando o tempo de tratamento.
Lee, K.-S.; Ryu, J.-J.; Jang, H.S.; Lee, D.-Y.; Jung, S.-K.; (2020); Coreia do Sul; Scopus; Transversal; 333 indivíduos.	Deep convolutional neural networks based analysis of cephalometric radiographs for differential diagnosis of orthognathic surgery indications	A IA pode auxiliar através do diagnóstico diferencial das indicações de cirurgias ortognáticas por meio da análise de imagens radiográficas cefalométricas baseada em DL (avaliando as imagens como um todo e não apenas medidas específicas).
Faber, J., Miranda, L., Faber, C., Valim, P., Bicalho, LS, & Milki-Neto, J. (2018, dezembro); Science Direct; Brasil; Longitudinal; Cefalometria de 1 paciente.	Surgery-first orthognathic surgery with computer assisted three-dimensional planning	A IA permite um planejamento eficiente através da Cefalometria e do planejamento 3D, eliminando a necessidade de traçados preditivos manuais e simplificando a cirurgia de modelo.
Kim, YH, Park, JB, Chang, MS, Ryu, JJ, Lim, WH e Jung, SK (2021); Coreia do Sul; Scopus; Transversal; 960 radiografias cefalométricas.	Influence of the Depth of the Convolutional Neural Networks on an Artificial Intelligence Model for Diagnosis of Orthognathic Surgery	De acordo com a profundidade e estrutura de suas redes neurais, a IA tem capacidade para diagnosticar e avaliar a necessidade de uma OGS, evitando possíveis erros na avaliação da face.
Hong, M., Kim, I., Cho, JH, Kang, KH, Kim, M., Kim, SJ, ... e Baek, SH (2022); Coreia do Sul; Scopus; Transversal; 3.188 cefalogramas.	Accuracy of artificial intelligence-assisted landmark identification in serial lateral cephalograms of Class III patients who underwent orthodontic treatment and two-jaw orthognathic surgery.	A precisão e a confiabilidade da identificação dos traçados cefalométricos por IA são importantes e precisos para a avaliação dos resultados do tratamento.

Lee, H.; Ahmad, S.; Frazier, M.; Dundar, M.M.; Turkkahraman, H.; (2022); Estados Unidos; Scopus; Retrospectivo; 196 pacientes.	A novel machine learning model for class III surgery decision.	A IA pode auxiliar através da classificação mais precisa dos casos dos pacientes em cirúrgicos ou não cirúrgicos para a OGS baseados em radiografias cefalográficas com a utilização de modelos de aprendizagem de máquina.
Madanan, M.; Velayudhan, N.C.; (2022); Índia; Scopus; Retrospectivo; Conjunto de dados do Modelo Facial em Grande Escala (LSFM) - dez mil escaneamentos faciais 3D de voluntários saudáveis e pacientes internados para operação ortognática.	A RotBoost Generalized Multiclass SVM Classifier for Automated Face Shape Prediction in Orthognathic Plastic and Reconstructive Surgery During Computer-Assisted Diagnosis and Planning.	A IA pode auxiliar em conjunto com outros programas automatizados para classificar com precisão as características da forma ortognática a fim de evitar erros de desvio no diagnóstico e planejamento cirúrgico da OGS.
Qiu X; Han W; Dai L; Zhang Y; Zhang J; Chai G; Lin L; Zhou J; (2022); China; PubMed; Retrospectivo; 2296 tomografias computadorizadas de cabeça para treinamento da IA e 80 casos de tomografias computadorizadas para projeção do plano pé-cirúrgico pela IA.	Assessment of an Artificial Intelligence Mandibular Osteotomy Design System: A Retrospective Study.	A eficácia do <i>software</i> de osteotomia IA no projeto do plano pré-cirúrgico pode economizar o custo do trabalho, pois ele faz um rápido mapeamento dos pontos característicos e pode ser aplicado ao design de placas guias pré-operatórias e intraoperatórias.
Chaiprasittikul N; Thanathornwong B; Pornprasertsuk-Damrongsri S; Raocharemporn S; Maponthong S; Manopatanakul S; (2022); Tailândia; PubMed; Retrospectivo; 538 radiografias cefalométricas laterais digitais.	Application of a Multi-Layer Perceptron in Preoperative Screening for Orthognathic Surgery.	Ao aplicar a inteligência artificial à análise cefalométrica o sistema foi capaz de tomar decisões para o diagnóstico ortodôntico com uma excelente precisão, demonstrando uma concordância de 96,3% com os ortodontistas para determinar se a OGS é necessária ou não.
Lim J; Tanikawa C; Kogo M; Yamashiro T; (2021); Japão; PubMed; Coorte; 126 pacientes.	Determination of prognostic factors for orthognathic surgery in children with cleft lip and/or palate.	A IA pôde esclarecer com sucesso fatores prognósticos que projetaram a necessidade de OGS em pacientes de dentição mista com fissura labial e/ou palatina a partir da análise de condições congênicas, história clínica e cefalograma lateral. Dessa forma, ela pode ser aplicada para determinar o

		prognóstico de crianças com FL/P quanto a necessidade de uma OGS.
Taraji, Samim; Atici, Salih Furkan; Viana, Grace; Kusnoto, Budi; Allareddy, Veersathpurush (Sath); Miloro, Michael; Elnagar, Mohammed H; (2023); Estados Unidos; ScienceDirect; Transversal; 182 participantes.	Novel Machine Learning Algorithms for Prediction of Treatment Decisions in Adult Patients With Class III Malocclusion.	É um modelo direcionado e específico para más oclusões de classe III em adultos que pode ser utilizado para tomada de decisão entre camuflagem ortodôntica e OGS. Logo, auxilia no diagnóstico preciso para a necessidade cirúrgica em pacientes CI III.
Deng, H.H.; Liu, Q.; Chen, A.; Kuang, T.; Yuan, P.; Gateno, J.; Kim, D.; Barber, J.C.; Xiong, K.G.; Yu, P.; Gu, K.J.; Xu, X.; Yan, P.; Shen, D.; Xia, J.J.; (2023); Estados Unidos; ScienceDirect; Transversal; 61 pacientes.	Clinical feasibility of deep learning-based automatic head CBCT image segmentation and landmark detection in computer-aided surgical simulation for orthognathic surgery.	A capacidade de gerar máscaras de segmentação para face média, mandíbula, dentes superiores e dentes inferiores em pouquíssimos minutos, normalmente sem a necessidade de retoque manual, e quando necessário o mesmo tende a ser rápido.

Fonte: Autores (2023).

Diagnóstico por imagem

Esta categoria diz respeito à avaliação de imagens digitais utilizadas para a avaliação da necessidade de intervenção cirúrgica nos pacientes das amostras desses artigos.

Na Tailândia, um estudo criou um *software* de triagem que utiliza um perceptron multicamadas para determinar se a OGS é ou não necessária. Esse novo sistema foi treinado a partir de 538 cefalogramas laterais, sendo 484 utilizados para treinamento da IA e os outros 54 destinados ao conjunto de testes. Dois ortodontistas com mais de 10 anos de experiência projetaram os planos de tratamento que foram comparados com aquele assistido por computador. Dos 54 casos apenas dois foram diagnosticados incorretamente pelo sistema, assim, o *software* de triagem apresentou uma taxa de 96,3% de concordância diagnóstica para determinar se a OGS é necessária ou não⁶.

Na Coreia do Sul foram realizados diversos estudos acerca da utilização da IA como auxílio a determinação da necessidade de procedimentos cirúrgicos ortognáticos, baseados principalmente em análises cefalométricas, seja por meio de medições específicas ou por dados gerais obtidos por meio delas. Em 2020, um dos referidos estudos tentou obter um modelo de aprendizado profundo que possa diagnosticar essa necessidade, baseando-se em características gerais das radiografias cefalométricas de 333 indivíduos. Isso foi feito para que os possíveis erros na etapa de pré-processamento e obtenção de informações, que não podem ser transmitidas através dos valores medidos, fossem reduzidos. Quarenta casos foram utilizados

apenas para avaliar o modelo, enquanto os conjuntos de treinamento e validação foram compostos pelos 293 casos restantes. Dessa forma, foram avaliados três modelos de aprendizagem profunda, o *Modified-Alexnet*, *MobileNet* e o *Resnet50*, dentre eles o *Modified-Alexnet* obteve o maior desempenho, com uma precisão de 0,919, sensibilidade de 0,852 e especificidade de 0,973, porém, em geral, eles mostraram uma alta taxa de sucesso de 95,4% a 96,4% no diagnóstico correto dos casos⁷.

Em outro estudo feito na Coreia do Sul, estudiosos propuseram um sistema de aprendizagem profunda baseado em CNN (*Convolutional Neural Network*) para classificação esquelética e avaliação da necessidade de OGS, sem as etapas de detecção de pontos de referência, além de ser projetado para avaliar conjuntamente cefalogramas laterais e pósterio-anteriores. Então, cefalogramas transversais e longitudinais de 840 pacientes com queixa de dismorfose dentofacial e/ ou uma má oclusão, foram utilizados para o treinamento e teste desse modelo, 394 de um total de 413 dados de teste foram classificados corretamente quanto a precisão, sensibilidade e especificidade⁸.

Em outra pesquisa, também realizada na Coreia do Sul, foi proposta uma investigação acerca da relação existente entre padrões de imagens em radiografias cefalométricas e o diagnóstico da OGS através da utilização e comparação de diferentes modelos de IA. Foram incluídos 640 pacientes que necessitaram de tratamentos ortodônticos não cirúrgicos e 320 pacientes que necessitavam de OGS. Os pontos de referência das radiografias cefalométricas dos pacientes foram detectados automaticamente com um programa de *software* usando um algoritmo de aumento de gradiente, e em seguida foram utilizados os modelos de CNN ResNet-18, 34 e 50. Os modelos ResNet-18 e 34 obtiveram taxas de sucesso de 93,80% e 93,60%, respectivamente, no conjunto de testes, isso confirmou a superioridade de desempenho em relação aos demais modelos⁹.

Nos Estados Unidos, estudiosos elaboraram um novo modelo de IA para prever a melhor estratégia de tratamento em adultos com má oclusão dentária de classe III. Foi selecionada uma amostra de 182 casos de acordo com os critérios de inclusão e exclusão, dos quais 137 fizeram parte do conjunto de treinamento e 45 do conjunto de validação, a precisão final do melhor modelo foi de 93%. O estudo revelou que existem diferenças cefalométricas significativas para tomada de decisão entre camuflagem ortodôntica e OGS. Por se tratar de um algoritmo direcionado e específico para a má oclusão de classe III em indivíduos adultos, o resultado mostra-se promissor¹⁰.

Um estudo feito na Coreia do Sul, investigou padrões de mudança e precisão na identificação de cefalometrias em pacientes com má oclusão de classe III que foram submetidos a OGS. Um total de 3.188 cefalogramas laterais de 797 pacientes com má oclusão de classe III foram utilizados para os conjuntos de treinamento e validação e o conjunto de teste para identificação automatizada de pontos de referência usando o modelo CNN. O algoritmo em cascata proposto neste estudo mostrou uma possibilidade de identificação de pontos de referência a partir de anatomias ósseas em cefalogramas

laterais seriados. É crucial que a identificação dos traçados cefalométricos em cefalogramas laterais seriados seja precisa e confiável para avaliar com precisão os resultados do tratamento. A aplicação da digitalização assistida por IA declarou manter sua precisão mesmo na presença de osso basal, suturas palatinas posteriores, fossa romboidal e alterações na remodelação óssea durante o tratamento ortodôntico e OGS¹¹.

Em outro estudo, também realizado nos Estados Unidos, foi proposto o desenvolvimento de um novo modelo de ML utilizando IA para avaliar a necessidade ou não de realização cirúrgica em pacientes de classe III, baseado nos mais variados dados cefalométricos. Dessa forma, foram coletados conjuntos completos de registros ortodônticos de 196 pacientes classe III esquelética, sendo 136 casos utilizados para treinamento e os 60 restantes para o conjunto de testes. A taxa de sucesso foi estimada, juntamente com 95% de intervalo de confiança (IC). Para treinar esse modelo foram utilizados dois algoritmos distintos, a floresta aleatória (RF) e a regressão logística (RL), dentre eles o RF foi um pouco melhor em geral, para a classificação correta dos pacientes para cirurgia ou tratamento não cirúrgico (90%). A FR também foi ligeiramente melhor para identificar corretamente pacientes não cirúrgicos com especificidade de 93%. O CCI (coeficiente de correlação intraclasse) para cada medida repetida foi superior a 0,83 para todas as medidas, exceto para duas de tecidos moles, espaço interlabial (0,69) e ângulo nasolabial (0,74), demonstrando boa confiabilidade¹².

Os autores desse estudo concluíram que a IA possui um alto potencial de aplicabilidade para a realização de análises referentes à classificação de pacientes ortodônticos em procedimentos cirúrgicos ou não, através do uso de exames de imagens. A maioria dessas pesquisas utiliza imagens cefalométricas para a avaliação dos casos, seja por meio da consideração de medições específicas ou de dados gerais obtidos.

Análise pré-operatória e possíveis prognósticos

Nesta categoria são abordados os estudos em que a IA foi empregada para análises pré-operatórias, previsão dos desdobramentos futuros ou potenciais resultados da OGS.

Na Índia, uma pesquisa realizada propôs o desenvolvimento de um classificador SVM (*Support Vector Machine*) Multiclasse generalizado RotBoost que se utiliza da IA para auxiliar no reconhecimento das faces dos pacientes de OGS, avaliando seus formatos faciais pré e pós-operatórios, dessa forma auxiliando na possível predição dos resultados cirúrgicos durante o planejamento médico, além de também ter a potencialidade de auxiliar na classificação desses pacientes em cirúrgicos ou não cirúrgicos. Para esse classificador foram utilizados grandes conjuntos de dados usando o modelo morfológico 3D de dez mil escaneamentos faciais de voluntários saudáveis e pacientes internados para OGS, e o conjunto de dados do Modelo Facial em Grande Escala (LSFM) foi utilizado para avaliar o seu desempenho. Inicialmente, o conjunto de dados foi dividido em conjunto treinamento e teste, respectivamente 80% e 20% para 1.000 interações. O

algoritmo RotBoost inserido nesse classificador é usado na fase de teste para reduzir erros e potencializar o reconhecimento de falhas, pois estas podem ser utilizadas para determinar se a hipótese criada atende aos requisitos de precisão, dessa forma, fazendo com que a identificação errada entre a face prevista e a imagem original da face do paciente seja minimizada. Os valores de especificidade e sensibilidade obtidos foram, respectivamente, 97,3% e 98,5%. Como falsos negativos, os rostos dos pacientes foram classificados erroneamente com uma frequência de 0,6%, enquanto os falsos positivos com uma ocorrência de 4,4%. Logo, tal classificador mostrou uma alta precisão e também reduziu o diagnóstico errôneo de OGS¹³.

Um estudo feito no Japão utilizou sistemas de IA para determinar fatores prognósticos em crianças com fissura labial e/ou palatina (FL/P), quanto à necessidade futura de uma OGS. Foram incluídos 126 pacientes com FL/P bilateral e unilateral, todos tinham cefalogramas laterais feitos aos 7, 10 e 15 anos de idade, um total de 80 precisaram de OGS. Foram desenvolvidos seis modelos de prognóstico usando a IA, que diferente de outros *softwares*, inclui não apenas variáveis cefalométricas, mas também incorporou condições congênitas em um único modelo de previsão. A cicatriz no palato após a cirurgia de reparo tem sido identificada como a principal razão para a inibição do crescimento maxilar em crianças com FL/P. Notou-se que a reparação tardia do palato duro apresentava prognósticos mais favoráveis. O estudo também observou que a falta de dentes e o número de dentes perdidos afeta o crescimento alveolar da maxila, podendo afetar a discrepância dentária final e aumentar a necessidade de OGS. Foi determinado pelo sistema de IA através do ML outros fatores prognósticos para OGS em crianças com FL/P, sendo eles: número de fissuras no lábio e alvéolo, uso do método *push-back* para fechamento palatino, sexo masculino, menor protrusão e comprimento da maxila, mandíbula maior, aumento da altura facial anterior, rotação do plano palatino e mandibular entre 7 e 10 anos e afins¹⁴.

Os estudos concordam que o uso da IA através de seus subcampos para ML, contribui para as avaliações e determinação de elementos prognósticos inclusive em casos mais específicos como FL/P. Graças a IA, foram encontrados rapidamente fatores preditivos para a OGS, resultados cirúrgicos e avanço dos casos com base em análises pré cirúrgicas.

Facilitação do plano cirúrgico

Foram incluídos nessa categoria os demais estudos que enfatizam, necessariamente, meios de facilitação do planejamento da OGS.

O *software* de IA, *SkullEngine*, foi projetado por pesquisadores americanos a fim de gerar máscaras de segmentação automática para face média, mandíbula, dentes superiores e dentes inferiores. Os 61 conjuntos de imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico foram analisados pelo sistema recém treinado que definiu de forma automática e assertiva 68 medidas cefalométricas. As máscaras foram geradas em poucos minutos, o tempo médio para a segmentação variou entre $4,2 \pm 0,3$ minutos, normalmente sem a necessidade de retoque manual, e quando necessário era rapidamente

resolvido. É clara a viabilidade clínica desse sistema para a execução automatizada das tarefas de segmentação e digitalização de pontos de referência. O *SkullEngine* demonstrou-se muito eficaz ao integrar a segmentação e detecção dos pontos de referência cefalométricos de forma ágil e precisa¹⁵.

Estudiosos da China desenvolveram um *software* de osteotomia de IA baseado em CNN para projetar o plano pré-cirúrgico de osteotomia do ângulo da mandíbula. Foram coletados 2.296 casos de tomografia computadorizada da cabeça. Desses, 1.900 foram destinados ao conjunto de treinamento e 396 ao conjunto de verificação para calibrar os resultados do *software*. Foram selecionados 80 casos para projeção do plano pré-cirúrgico divididos em grupo A (desenho do *software* de osteotomia de IA) e grupo B (desenho feito manualmente), para comparação. As diferenças foram consideradas não significativas estatisticamente, ou seja, os dois métodos são consistentes e equivalentes. Foram concluídos dois casos clínicos de osteotomia do ângulo da mandíbula com a ajuda desse sistema, ambas garantiram plena satisfação médica e dos pacientes. O *software* de osteotomia de IA pode ser visto como forte substituto da osteotomia manual¹⁶.

No Brasil, um estudo foi conduzido com o objetivo de desenvolver um protocolo para o planejamento ortodôntico cirúrgico tridimensional em OGS. Este estudo utilizou um caso de paciente com má oclusão de classe II como exemplo ilustrativo. As imagens de tomografia computadorizada de feixe cônico foram posteriormente processadas e transformadas em modelos 3D utilizando um *software* especializado. Após a geração do modelo composto do crânio, foi possível realizar uma análise cefalométrica, identificando traçados cefalométricos e realizando medidas lineares e angulares para diagnosticar a má oclusão do paciente. As medidas cefalométricas revelaram que o paciente tinha uma Classe II esquelética, o que originou um planejamento feito pela MSCT (*Multislice Computer Tomography*) através do modelo de crânio composto que envolve a fabricação de talas e mini placas esqueléticas ideais para o tratamento, essas talas cirúrgicas são fabricadas usando a tecnologia *Computer-Aided Design* e *Computer-Aided Manufacturing* (CAD/CAM). O planejamento 3D nesse contexto mostrou-se altamente benéfico, eliminando a necessidade de traçados preditivos manuais e simplificando a cirurgia de modelo¹⁷.

Em outra pesquisa, também realizada na China, foi desenvolvido um sistema de análise automática baseado em IA, o *CephNet*, treinado com a utilização de cefalogramas digitais de pacientes com as mais variadas má oclusões e variações esqueléticas, coletadas em instituições médicas do país. Esse sistema mostrou um desempenho considerável na identificação de medidas cefalométricas em cefalogramas com as mais diversas variáveis, inclusive de qualidade de imagem, o erro médio de classificação desse sistema foi de $0,94 \pm 0,74$ mm, alcançando uma precisão média de 89,33%, superando a maioria dos projetos análogos anteriores e apresentando alta acurácia e aplicabilidade¹⁸.

Foi evidenciado nesses artigos a eficácia da IA no que diz respeito à projeção de planos cirúrgicos, através da segmentação automática dos pontos de referência

cefalométricos, bem como do protocolo cirúrgico tridimensional. A mesma utiliza CNN e ML para mapear os marcos anatômicos e projetar o melhor planejamento da OGS.

4. DISCUSSÃO

Os estudos sobre diagnóstico por imagem, em sua maioria, evidenciaram que a implementação de IA, após treinamento e validação do aprendizado, revela-se altamente eficaz, apresentando taxas significativas de concordância diagnóstica quando comparadas aos diagnósticos feitos por especialistas. A maioria dessas pesquisas baseiam-se principalmente em análises cefalométricas, através do uso de exames de imagens para treinar o algoritmo de ML e automatizar a identificação de medidas cefalométricas.

A análise dos traçados e posterior detecção das medidas cefalométricas demanda tempo e expertise do ortodontista e cirurgia bucomaxilofacial. Atualmente, a prática consiste em criar manualmente as máscaras de segmentação, no entanto, a interpretação das medidas obtidas pode estar sujeita a pequenos, mas críticos, erros. O uso da IA e seus subcampos como o ML, DL e CNN podem superar as limitações presentes na fase de triagem para o diagnóstico assertivo da necessidade de uma OGS, além de facilitar o planejamento cirúrgico e projetar possíveis prognósticos^{6,15}. Convém salientar que uma análise bem feita dos traçados cefalométricos é parte fundamental do processo de triagem, diagnóstico definitivo, planejamento terapêutico e decisões clínicas¹⁵.

Os algoritmos de IA têm a capacidade de analisar grandes volumes de dados por meio de reconhecimento de padrões, aprendizado, priorização, adaptação e tomada de decisão, a fim de executar tarefas específicas e adquirir conhecimento sem programação explícita, realizando-as com precisão crescente^{10,6}. A segmentação automática realizada pela IA, particiona e rotula as estruturas anatômicas identificadas nas imagens de tomografia computadorizada ou mesmo cefalogramas laterais de forma rápida e eficaz. Os modelos criados podem ajudar o cirurgião na compreensão de elementos que projetam a necessidade de OGS, em outras palavras, elas auxiliam o processo de triagem¹⁵.

Do mesmo modo que a IA pode aprimorar o processo de triagem para um diagnóstico ortodôntico assertivo em relação a necessidade de uma OGS, ela também pode ser treinada a fim de gerar análises pré-operatórias com consequentes previsões prognósticas e para simplificar o planejamento cirúrgico. O mesmo princípio de segmentação automática das medidas cefalométricas é aplicado para essas finalidades, sendo possível incluir outros dados específicos no conjunto de treinamento da IA, como condições congênicas e história clínica dos pacientes¹⁴.

A OGS não envolve apenas a correção de deformidades faciais ou problemas de má oclusão dentária, mas também se relaciona à própria aparência final do paciente em questão e, por consequência, à sua qualidade de vida como um todo¹. De tal forma, a simulação cirúrgica assim como o desenvolvimento de programas que possam realizar uma possível predição acerca do resultado final do processo cirúrgico, mostram-se extremamente essenciais em sua realização,

tendo em vista que a aparência final dos tecidos moles da face tem a potencialidade de se tornar um fator decisivo e alterar, seja por questão de funcionalidade ou aspectos estéticos requeridos pelo paciente, o plano operatório da cirurgia¹³.

Nos estudos selecionados, os quais abordaram tal processo de previsões prognósticas a partir de análises pré-operatórias, evidenciaram-se a eficácia dos sistemas que envolvem IA na identificação e análise de fatores preditivos para os resultados cirúrgicos e avanços dos casos. As referidas análises pré-operatórias realizadas por esses programas foram baseadas em uma variedade de fatores, dentre eles: escaneamentos faciais 3D, cefalogramas laterais e outras condições congênicas, o que permitiu a avaliação de fatores prognósticos inclusive para casos mais específicos como os de crianças com FL/P, quanto a necessidade futura de uma OGS^{14,13}.

Fundamentando-se nos artigos analisados, o uso da tecnologia por meio de imagens e modelos 3D representa um avanço significativo no planejamento da OGS, permitindo uma visão mais precisa da complexidade das anomalias ósseas. Essa abordagem permite a criação de um planejamento cirúrgico virtual, tornando o processo da OGS mais eficaz³. Pode também aprimorar a aquisição dos cálculos e variáveis através da IA, dado que a precisão no planejamento pré-operatório é essencial para uma cirurgia efetiva e segura, evitando a ocorrência de possíveis erros⁴.

Vale ainda ressaltar que a eficácia da IA no planejamento da OGS tem o potencial de reduzir o tempo e custos trabalhistas, simulando o movimento dos ossos maxilofaciais para alcançar o alinhamento correto, o que aumenta a precisão do planejamento e a rápida identificação das medidas cefalométricas, que podem ser incorporadas no desenvolvimento de diretrizes pré-operatórias e intraoperatórias.

A subdivisão das categorias temáticas supracitadas foi projetada para melhorar a compreensão das contribuições da IA no planejamento cirúrgico ortognático. É evidente que seus limites se confundem, pois de certo modo, essas categorias se mesclam. Tanto o diagnóstico por imagem quanto a análise pré-operatória, possíveis prognósticos e outros mecanismos facilitadores atuam de forma conjunta para este planejamento cirúrgico de maneira geral.

5. CONCLUSÃO

Fica evidente que a IA, através de seus subcampos de aprendizagem, pode auxiliar precisamente no planejamento da OGS. O diagnóstico por imagem, a análise pré-operatória e os possíveis prognósticos, juntamente ao desenvolvimento de facilitadores do plano cirúrgico por meio de IA, têm sido as principais contribuições desse ramo da tecnologia atual, fato este que foi reiteradamente demonstrado e comprovado nos artigos analisados.

Embora possa se notar uma quantidade significativa de estudos sobre o assunto, na realidade, a maioria destes se limita à utilização da IA na medição de pontos cefalométricos. Tal evidência deduzida pelas pesquisas abordadas chama a atenção para a necessidade da realização de mais estudos primários acerca das

possíveis contribuições da IA como, por exemplo, na sua participação na análise de fatores prognósticos. Posto isso, conclui-se que a IA tem se constituído como uma gama de programas extremamente ampla e promissora, garantindo inúmeras aplicabilidades no âmbito da saúde e, por consequência, na OGS.

6. REFERÊNCIAS

- [1] Larsson P, Bondemark L, Häggman-Henrikson B. The impact of oro-facial appearance on oral health-related quality of life: A systematic review. *J Oral Rehabil.* 2020; 48(3):271-281.
- [2] Conley RS. Orthognathic surgery past, present, and future. *Clin Invest Orthod.* 2022; 81(4): 179-186.
- [3] Khanagar SB, Alfouzan K, Awawdeh M, *et al.* Performance of Artificial Intelligence Models Designed for Diagnosis, Treatment Planning and Predicting Prognosis of Orthognathic Surgery (OGS) - A Scoping Review. *Appl Sci.* 2022;12(11).
- [4] Mohaideena K, Negia A, Kumar D, *et al.* Applications of artificial intelligence and machine learning in orthognathic surgery: A scoping review. *J Stomatol Oral Maxillofac Surg.* 2022.
- [5] Rokhshad R, Keyhan SO, Yousefi P. Artificial intelligence applications and ethical challenges in oral and maxillo-facial cosmetic surgery: a narrative review. *Maxillofac Plast Reconstr Surg.* 2023; 45(1): 4-20.
- [6] Chaiprasittikul N, Thanathornwong B, Pornprasertsuk-Damrongsri S, *et al.* Application of a Multi-Layer Perceptron in Preoperative Screening for Orthognathic Surgery. *Healthc Inform Res.* 2023; 29(1):16-22.
- [7] Lee KS, Ryu JJ, Jang HS, *et al.* Deep Convolutional Neural Networks Based Analysis of Cephalometric Radiographs for Differential Diagnosis of Orthognathic Surgery Indications. *Appl Sci.* 2020;10(6):2124.
- [8] Shin W, Yeom HG, Lee GH, *et al.* Deep learning based prediction of necessity for orthognathic surgery of skeletal malocclusion using cephalogram in Korean individuals. *BMC Oral Health.* 2021; 21(1):1-7.
- [9] Kim YH, Park JB, Chang MS, *et al.* Influence of the Depth of the Convolutional Neural Networks on an Artificial Intelligence Model for Diagnosis of Orthognathic Surgery. *J Pers Med* 2021; 11(5):356.
- [10] Taraji S, Atici SF, Viana G, *et al.* Novel Machine Learning Algorithms for Prediction of Treatment Decisions in Adult Patients with Class III Malocclusion. *J Oral Maxillofac Surg.* 2023.
- [11] Hong M, Kim I, Cho JH, *et al.* Accuracy of artificial intelligence-assisted landmark identification in serial lateral cephalograms of Class III patients who underwent orthodontic treatment and two-jaw orthognathic surgery. *Korean J Orthod.* 2022; 52(4):287-297.
- [12] Lee H, Ahmad S, Frazier M, *et al.* A novel machine learning model for class III surgery decision. *J Orofac Orthop Fortschritte Kieferorthopadie.* 2022; 1-11.
- [13] Madanan M, Velayudhan NC. A RotBoost Generalized Multiclass SVM Classifier for Automated Face Shape Prediction in Orthognathic Plastic and Reconstructive Surgery During Computer-Assisted Diagnosis and Planning. *ICCCI.* 2022; 1-6
- [14] Lim J, Tanikawa C, Kogo M, *et al.* Determination of prognostic factors for orthognathic surgery in children with cleft lip and/or palate. *Orthod Amp Craniofacial Res.* 2021; 24:153-62.
- [15] Deng HH, Liu Q, Chen A, *et al.* Clinical feasibility of deep learning-based automatic head CBCT image segmentation and landmark detection in computer-aided surgical simulation for orthognathic surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2022; 52(7):793-800.
- [16] Qiu X, Han W, Dai L, *et al.* Assessment of an Artificial Intelligence Mandibular Osteotomy Design System: A Retrospective Study. *Aesthet Plast Surg.* 2022; 46(3):1303-1313.
- [17] Faber J, Miranda L, Faber C, *et al.* Surgery-first orthognathic surgery with computer assisted three-dimensional planning. *Semin Orthod* 2018; 24(4):430-42.
- [18] Jiang F, Guo Y, Yang C, *et al.* Artificial intelligence system for automated landmark localization and analysis of cephalometry. *Dentomaxillofac Radiol.* 2022; 52(1).