

Aplicaciones de la inteligencia artificial en el diagnóstico dentomaxilofacial

Applications of Artificial Intelligence in Dentomaxillofacial Diagnostics

Iván Suazo Galdames¹  

RESUMEN

Introducción: La introducción de aplicaciones impulsadas por la inteligencia artificial está revolucionando la imagenología dentomaxilofacial.

Objetivos: Describir el estado actual de las aplicaciones de la inteligencia artificial en el diagnóstico dentomaxilofacial; evaluar su impacto e identificar direcciones futuras para la investigación y la implementación.

Método: Se realizó una revisión narrativa, utilizando búsquedas sistemáticas en bases de datos como PubMed, Google Scholar, IEEE Xplore, entre otras; el estudio se enfocó en artículos publicados desde 2010 hasta la actualidad. Se incluyeron investigaciones que aplican tecnologías de la inteligencia artificial en el diagnóstico dentomaxilofacial; se evaluó su calidad y relevancia mediante las herramientas establecidas.

Resultados: La inteligencia artificial, especialmente el aprendizaje profundo, ha mostrado mejoras significativas en la segmentación de imágenes, la detección de enfermedades y la planificación del tratamiento en imagenología dentomaxilofacial. Las técnicas de inteligencia artificial han permitido la automatización de tareas de análisis de imágenes, mejorado la eficiencia y la precisión diagnóstica.

Conclusiones: La inteligencia artificial posee un potencial significativo para revolucionar la imagenología dentomaxilofacial, pues ofrece mejoras en la precisión diagnóstica, eficiencia en la interpretación de imágenes y en la planificación del tratamiento. Se necesitan más investigaciones para superar desafíos técnicos, éticos y de privacidad y validar la aplicabilidad clínica de estas tecnologías.

Palabras clave: inteligencia artificial; diagnóstico por imagen; radiología; tomógrafos computarizados por rayos X; aprendizaje profundo.

ABSTRACT

Introduction: The introduction of artificial intelligence-driven applications is revolutionizing dentomaxillofacial imaging.

Objectives: To describe the current status of artificial intelligence applications in dentomaxillofacial diagnostics; to assess their impact; and to identify future directions for research and implementation.

Methods: A narrative review was performed, using systematic searches in databases such as PubMed, Google Scholar, IEEE Xplore, among others; the study focused on articles published from 2010 to the present. Researches applying artificial intelligence technologies in dentomaxillofacial diagnosis were included; their quality and relevance were evaluated using the established tools.

Results: Artificial intelligence, especially deep learning, has shown significant improvements in image segmentation, disease detection and treatment planning in dentomaxillofacial imaging. Artificial intelligence techniques have enabled automation of image analysis tasks, improved efficiency and diagnostic accuracy.

Conclusions: Artificial intelligence has significant potential to revolutionize dentomaxillofacial imaging, as it offers improvements in diagnostic accuracy, efficiency in image interpretation, and treatment planning. Further research is needed to overcome technical, ethical and privacy challenges and to validate the clinical applicability of these technologies.

Keywords: artificial intelligence; diagnostic imaging; radiology; x-ray computed tomography; deep learning.

INTRODUCCIÓN

La imagenología dentomaxilofacial es un componente esencial de la práctica dental y maxilofacial, que proporciona información crucial para el diagnóstico y la planificación del tratamiento. La introducción de los sistemas de tomografía computarizada de haz cónico (CBCT, por sus siglas en inglés) ha avanzado significativamente el campo, al revolucionar la imagenología en las áreas oral y maxilofacial. La CBCT se ha convertido en el estándar de oro para la imagenología de la región oral y maxilofa-

cial, debido a sus numerosas ventajas que incluyen la reducción del tiempo de exposición, la dosis de radiación y el costo en comparación con otras modalidades de imagen.⁽¹⁾

Recibido: 29/11/2023
Aceptado: 01/02/2024

¹Universidad Autónoma de Chile, Facultad de Ciencias de la Salud. Santiago, Chile.



Esta tecnología permite la imagenología tridimensional (3D); proporciona información anatómica detallada y mejora la visualización de estructuras como el canal dental inferior, el foramen mental y el seno maxilar, lo cual es crucial para procedimientos endodónticos y quirúrgicos.⁽²⁾ La importancia de la imagenología dentomaxilofacial en odontopediatría se ha enfatizado con recomendaciones específicas para sus aplicaciones en el campo pediátrico; destaca la necesidad de enfoques de imagenología orientados a la indicación y específicos para el paciente.⁽³⁾ Recientemente, la integración de la inteligencia artificial (IA) en la imagenología 3D ha abierto nuevas oportunidades para los practicantes dentales, al ofrecer una comprensión integral de la tendencia actual de los desarrollos de IA en la imagenología dentomaxilofacial.⁽⁴⁾ La fiabilidad y validez de los métodos de imagenología dentomaxilofacial han sido objeto de estudio. Se ha enfatizado la necesidad de asegurar mediciones precisas y exactas para la evaluación de sitios de implantes y patologías de la mandíbula.⁽⁵⁾ Además, se han realizado esfuerzos para evaluar el efecto de los parámetros de exposición en el análisis de la estructura ósea en la CBCT dental, lo que mejora aún más la precisión de las técnicas de imagenología.⁽⁶⁾

La introducción de la CBCT no solo ha transformado la radiología dentomaxilofacial, sino que también ha impactado otros campos médicos, como la otorrinolaringología, donde se utiliza para evaluar la morfología 3D del esqueleto maxilofacial y resolver problemas complejos de diagnóstico y planificación del tratamiento.⁽⁷⁾ También se ha destacado el papel emergente de la medicina nuclear en la cirugía oral y maxilofacial, lo que resalta su importante papel en el diagnóstico y tratamiento de enfermedades en la región oral y maxilofacial.⁽⁸⁾ De esta forma la imagenología dentomaxilofacial, la integración de técnicas de imagenología avanzadas, la IA y la medicina nuclear han expandido las capacidades de la imagenología dentomaxilofacial, al proporcionar herramientas valiosas a los clínicos para un diagnóstico preciso, la planificación del tratamiento y la mejora en la atención al paciente.

En relación con los algoritmos de IA, en particular el aprendizaje profundo, ha demostrado un progreso notable en las tareas de reconocimiento de imágenes.⁽⁹⁾ En el contexto de la radiología dentomaxilofacial (DMFR) los métodos computacionales como la radiómica y las aplicaciones de IA han progresado notablemente, lo que muestra el impacto potencial de la IA en esta área especializada de la imagen.⁽¹⁰⁾ La aplicación de la IA en Odontología se extiende al desarrollo de nuevas herramientas para la detección y segmentación en radiografías panorámicas, lo que demuestra un rendimiento más rápido y preciso en comparación con la segmentación manual.^(11,12) La literatura reporta el uso de métodos de aprendizaje profundo para la segmentación del canal mandibular en volúmenes de tomografía computarizada de haz cónico dental (CBCT), lo que destaca el potencial de reducir significativamente el trabajo manual en las anotaciones del canal mandibular.

Además, la evaluación de un sistema de apoyo a la toma de decisiones, desarrollado con un enfoque de aprendizaje profundo para detectar caries dental con imágenes CBCT, ha mostrado resultados prometedores, lo que indica el potencial de la IA para mejorar las capacidades de diagnóstico en imágenes dentomaxilofaciales.⁽¹³⁾ La importancia de la IA en las imágenes dentomaxilofaciales se ve aún más subrayada por su potencial para revolucionar la atención sanitaria y la Odontología, al ofrecer nuevas vías para mejorar la precisión del diagnóstico y la planificación del tratamiento.⁽¹⁴⁾

El uso de herramientas impulsadas por IA y enfoques de aprendizaje profundo tiene el potencial de agilizar los procesos de obtención de imágenes, mejorar la precisión de las mediciones y facilitar la detección de patologías en la región oral y maxilofacial.^(4,15) Además, la integración de la IA en las imágenes dentomaxilofaciales tiene el potencial de optimizar el análisis de las imágenes CBCT, pues proporciona información valiosa acerca de las estructuras anatómicas y ayuda en el diagnóstico y la planificación del tratamiento de diversas afecciones dentales y maxilofaciales.⁽¹⁶⁾ La baja dosis efectiva para el paciente asociada con la CBCT dentomaxilofacial mejora el atractivo de las técnicas de imágenes impulsadas por IA, que ofrecen imágenes de alta calidad con una exposición reducida a la radiación.⁽¹⁷⁾

El impacto potencial de la IA en este campo especializado de las imágenes es evidente en su capacidad para mejorar la precisión, agilizar los procesos y proporcionar información valiosa para los odontólogos y los profesionales de la salud. Los objetivos de este artículo fueron describir el estado actual de las aplicaciones de la inteligencia artificial en el diagnóstico dentomaxilofacial; evaluar su impacto e identificar direcciones futuras para la investigación y la implementación.

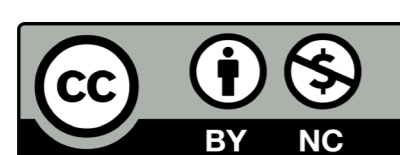
MÉTODOS

Se llevó a cabo una revisión narrativa sobre el diagnóstico dentomaxilofacial con IA. Se siguió un enfoque sistemático para garantizar la inclusión de investigaciones relevantes y de alta calidad en nuestra revisión.

Criterios de inclusión y exclusión

Para mantener la calidad y relevancia de los estudios incluidos en nuestra revisión se establecieron los siguientes criterios:

- 1. Fecha de publicación:** Los estudios incluidos se publicaron entre 2010 y el presente, lo que permite centrarse en los avances recientes en las aplicaciones de IA en el diagnóstico dentomaxilofacial.



2. Tipo de investigación: Se consideraron estudios de investigación primaria revisados por pares, ensayos clínicos, estudios observacionales, revisiones sistemáticas y metanálisis que exploraron la aplicación de la IA en el diagnóstico dentomaxilofacial.
3. Relevancia para la IA y el diagnóstico dentomaxilofacial: los estudios incluidos debían tener un enfoque claro en las tecnologías de IA aplicadas al diagnóstico dentomaxilofacial. Se excluyeron los estudios en los que la IA no era un componente principal de la investigación.
4. Calidad e impacto: Se evaluó el rigor metodológico de los estudios y se otorgó preferencia a investigaciones con una metodología clara y hallazgos estadísticamente significativos.

Estrategia de búsqueda y bases de datos

La estrategia de búsqueda tuvo como objetivo identificar de manera integral los estudios relevantes. Se realizaron búsquedas en varias bases de datos académicas, que incluyen, entre otras:

- PubMed
- Google Académico
- Exploración IEEE
- Web of Science
- Scopus

Los términos de búsqueda incluyeron una combinación de palabras clave como: “dentomaxilofacial”, “odontología”, “diagnóstico oral”, “inteligencia artificial”, “aprendizaje automático” y “aprendizaje profundo” en español e inglés. No se aplicaron restricciones de idioma para los resultados.

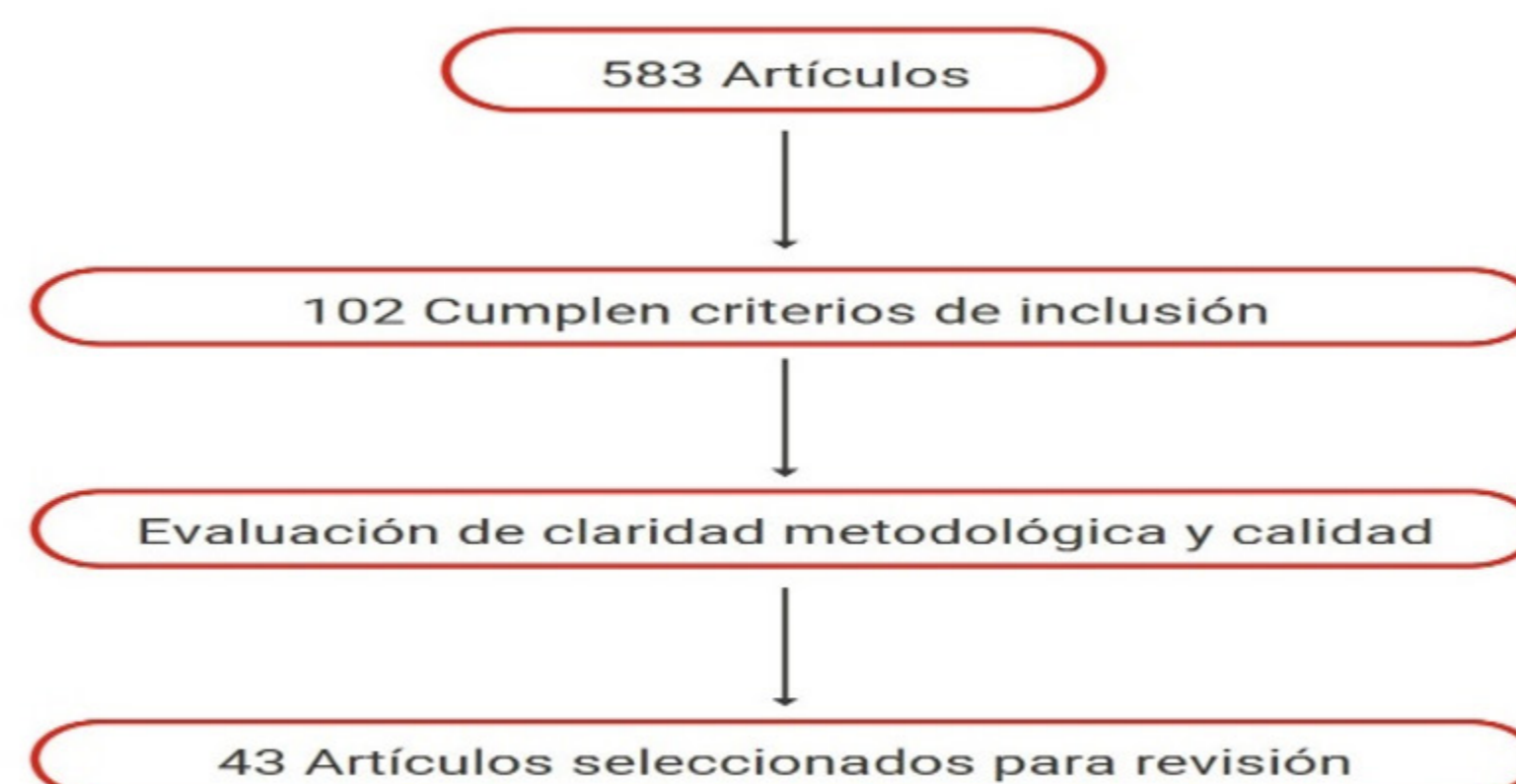
Además, se revisaron manualmente las listas de referencias de artículos y revisiones clave para identificar estudios relevantes adicionales que podrían no haber aparecido en los resultados de búsqueda iniciales.

Evaluación de calidad

Para evaluar la calidad de los estudios incluidos se emplearon herramientas y criterios establecidos apropiados para los tipos de estudios. Para los ensayos controlados aleatorios (ECA) se utilizó la herramienta de riesgo de sesgo de la Colaboración Cochrane. Para los estudios observacionales se aplicó la escala de Newcastle-Ottawa para evaluar la calidad y el riesgo de sesgo. El proceso de evaluación de la calidad garantizó que los estudios con un mayor nivel de evidencia y rigor metodológico recibieran el peso adecuado en la revisión.

RESULTADOS

El proceso de selección de artículos para la revisión sistemática comenzó con una búsqueda inicial que arrojó 583 trabajos. De estos, 102 cumplieron con los criterios de inclusión preestablecidos y se seleccionaron para una evaluación más detallada. Durante esta fase de evaluación se examinó la claridad metodológica y la calidad de cada artículo. Basándose en este análisis riguroso, se determinó que 43 artículos cumplían con los estándares requeridos para ser incluidos en la revisión final ([fig. 1](#)).



Fuente: Elaboración propia.

Fig. 1 - Esquema del proceso de selección de los artículos incluidos en la revisión.

Huang y otros⁽⁴⁾ proporcionaron una revisión exhaustiva de las aplicaciones, oportunidades y limitaciones actuales de la IA para imágenes 3D en la investigación y la práctica dental; se centraron en la radiología dentomaxilofacial (DMFR) y el escaneo intraoral y facial. Esta revisión ofrece información sobre el desempeño de la IA en imágenes dentomaxilofaciales y su impacto potencial en la práctica clínica. Lette y otros⁽¹⁰⁾ presentaron una revisión exhaustiva del uso más moderno de la radiómica y el aprendizaje automático (ML) para la obtención de imágenes en la atención de la salud bucal. Este estudio arroja luz sobre los avances en las aplicaciones de IA para imágenes de atención de salud bucal, que pueden ser relevantes para las imágenes dentomaxilofaciales.

Nagi y otros⁽¹⁸⁾ analizaron las aplicaciones clínicas y el rendimiento de los sistemas inteligentes, incluido el aprendizaje automático, la inteligencia artificial y los programas de aprendizaje profundo en radiología dental y maxilofacial. Esta revisión proporciona información valiosa sobre el alcance y el potencial de los sistemas inteligentes en imágenes dentomaxilofaciales. Xiao y otros⁽¹⁹⁾ se centraron en la construcción de un nuevo sistema de clasificación automática para el nivel de densidad mineral del hueso de la mandíbula, basado en el aprendizaje profundo mediante tomografía computarizada de haz cónico. Este estudio destaca la aplicación específica del aprendizaje profundo en imágenes dentomaxilofaciales para la evaluación de la densidad mineral ósea de la mandíbula. Gokdeniz y Kamburoğlu⁽¹⁴⁾ investigaron los beneficios de las aplicaciones de IA en radiología dentomaxilofacial, particularmente en la determinación de la relación con la osteoporosis a partir de radiografías panorámicas dentales, utilizando algoritmos de IA. Este estudio contribuye a la comprensión del papel de la IA en el diagnóstico de afecciones sistémicas a partir de imágenes dentales.

Estos estudios demuestran colectivamente el creciente interés y los avances en las aplicaciones de IA en imágenes dentomaxilofaciales, que abarcan áreas como las imágenes 3D, la radiómica, el aprendizaje automático y el aprendizaje profundo. El impacto potencial de la IA en la mejora de la precisión del diagnóstico, la planificación del tratamiento y la atención al paciente en imágenes dentomaxilofaciales es evidente a partir de estos desarrollos clave.

Técnicas de IA en Imagenología Dentomaxilofacial

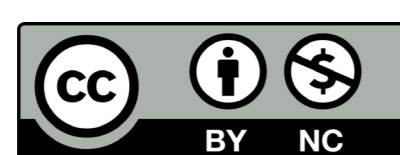
En imágenes dentomaxilofaciales se han empleado técnicas de IA como el aprendizaje automático, el aprendizaje profundo y la visión por computadora, lo que muestra el gran potencial para mejorar la precisión diagnóstica y la atención al paciente. El aprendizaje automático ha facilitado la clasificación, segmentación y extracción de características, al utilizar algoritmos como máquinas de vectores de soporte y bosques aleatorios para detectar enfermedades.^(20,21) La técnica de aprendizaje por transferencia ha mejorado el rendimiento en el análisis de imágenes dentomaxilofaciales con conjuntos de datos limitados.⁽¹⁰⁾ El aprendizaje profundo, especialmente a través de redes neuronales convolucionales, ha automatizado el análisis de imágenes, asistiendo en la identificación de estructuras anatómicas y patologías.^(22,23,24) Las técnicas de visión por computadora han extraído información crucial de imágenes dentales y maxilofaciales para optimizar la visualización y análisis de tomografías computarizadas de haz cónico (CBCT) en función de un diagnóstico más preciso.^(25,26,27,28) La integración de estas técnicas de IA promete revolucionar el diagnóstico, la planificación del tratamiento y la atención al paciente en Odontología

¿Cómo se aplican estas técnicas de IA a diferentes aspectos de las imágenes, incluida la adquisición, el análisis y la interpretación de imágenes?

En la imagenología odontológica y maxilofacial las técnicas de inteligencia artificial (IA) están revolucionando la manera en que se adquieren, analizan e interpretan las imágenes.⁽²⁹⁾ La IA facilita el diagnóstico automatizado de enfermedades, al identificar desde caries hasta complejas condiciones maxilofaciales en las imágenes radiográficas. Un aspecto muy relevante de la IA es su capacidad para localizar automáticamente puntos anatómicos clave, lo que es especialmente útil en la planificación de tratamientos ortodóncicos y ortognáticos y permite elaborar planes más precisos y eficaces.^(30,13,23,31)

Por otra parte, la mejora de la calidad de las imágenes es otra aplicación significativa de la IA, donde algoritmos avanzados trabajan para reducir el ruido y optimizar el contraste, lo que da como resultado imágenes más claras y detalladas que facilitan un diagnóstico más preciso. Esto permite detectar patologías⁽²⁹⁾ y automatizar el análisis de imágenes.⁽⁴⁾ En el ámbito tridimensional, como con la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), la IA no solo asiste en la reconstrucción de imágenes 3D sino también en su análisis detallado; proporciona vistas exhaustivas de la anatomía dental y maxilofacial que son fundamentales para una planificación y ejecución exitosa del tratamiento.

La planificación de tratamientos y la predicción de resultados se ven igualmente potenciadas por la IA, que analiza imágenes para anticipar los resultados de diversos tratamientos, apoyando así la toma de decisiones clínicas con base en evidencia más sólida. La continua evolución de la IA promete aún más avances en el campo de la imagenología odontológica y maxilofacial, al mejorar significativamente la precisión y eficiencia en el cuidado de la salud dental.



Aplicaciones y casos

Las aplicaciones de IA en imágenes dentomaxilofaciales están avanzando rápidamente y mejoran el diagnóstico, tratamiento y cuidado del paciente. Investigaciones recientes, como las de Park & Park⁽¹⁵⁾ y Farook y otros,⁽³²⁾ muestran cómo la IA aumenta la precisión diagnóstica de caries y dientes impactados y maneja el dolor orofacial. Khanagar y otros⁽³³⁾ y Lee y otros⁽³⁴⁾ exploran el uso de la IA en la Ortodoncia y la detección de osteoartritis de la articulación temporomandibular (ATM), respectivamente. La radiómica y el aprendizaje automático, discutidos por Leite y otros,⁽¹⁰⁾ están optimizando la planificación del tratamiento. En la segmentación de imágenes Kong y otros⁽³⁵⁾ y Bayrakdar y otros⁽³⁶⁾ demuestran la eficacia de la IA en la segmentación maxilofacial y de lesiones apicales. Kanuri y otros⁽³⁷⁾ y Song y otros⁽³⁸⁾ resaltan la utilidad de la IA en la segmentación de imágenes dentales y la detección de calcificaciones. Lubner y otros,⁽³⁹⁾ Rizzo y otros⁽⁴⁰⁾ y Nioche y otros^(41,42) destacan la importancia de la radiómica y el análisis de texturas en la imagenología médica con aplicaciones, tanto en Oncología, como en otros campos. Sollini y otros⁽⁴³⁾ subrayan el potencial de estas técnicas para asistir en decisiones clínicas, lo que señala un avance significativo en el diagnóstico y tratamiento médico.

Desafíos y limitaciones de las aplicaciones de IA en imágenes dentomaxilofaciales

Privacidad de los datos

Las imágenes dentomaxilofaciales engloban información altamente confidencial del paciente, que incluye datos médicos visuales e información de la salud personal. La utilización de la Inteligencia Artificial (IA) para el análisis e interpretación de dichos datos suscita preocupaciones sustanciales en relación con la privacidad y la seguridad. Es de suma importancia garantizar el cumplimiento de las normativas de protección de datos, tales como la Ley de Portabilidad y Responsabilidad de Seguro Médico (HIPAA) en Estados Unidos y el Reglamento General de Protección de Datos (GDPR) en la Unión Europea, con el fin de resguardar la privacidad del paciente.

Sesgo en los algoritmos de la IA

Los algoritmos de IA son susceptibles de manifestar sesgos, lo cual puede dar lugar a disparidades en la precisión de los diagnósticos y en las recomendaciones de tratamiento. En el contexto de las imágenes dentomaxilofaciales el sesgo en los algoritmos de IA puede conllevar evaluaciones inexactas de las condiciones dentales y maxilofaciales, lo que impacta negativamente en la atención brindada al paciente. Resulta fundamental abordar este sesgo mediante la utilización de conjuntos de datos de capacitación diversos y representativos, así como la transparencia en la formulación de los algoritmos.

Preocupaciones éticas

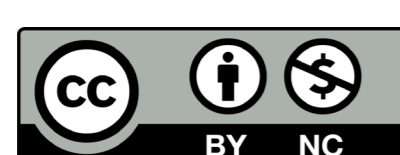
El uso ético de la IA en el ámbito de las imágenes dentomaxilofaciales involucra consideraciones relacionadas con la autonomía del paciente, la beneficencia, la no maleficencia y la justicia. Surgen inquietudes éticas en relación con la posible dependencia excesiva de la IA en la toma de decisiones clínicas, el impacto en las relaciones médico-paciente y la utilización responsable de los conocimientos generados por la IA en la planificación del tratamiento.

Consentimiento informado y transparencia

Es imperativo obtener el consentimiento informado de los pacientes para la utilización de la IA en las imágenes dentomaxilofaciales. Los pacientes deben ser debidamente informados acerca del papel desempeñado por la IA en sus diagnósticos y en la planificación de sus tratamientos. Asimismo, la transparencia en el uso de los algoritmos de IA, incluyendo sus limitaciones y posibles sesgos, resulta esencial para mantener la confianza del paciente y garantizar una práctica ética.

Responsabilidad y regulación

La responsabilidad inherente a los sistemas de IA en el ámbito de las imágenes dentomaxilofaciales, la cual abarca la validación de los algoritmos y la utilización responsable de los conocimientos generados por la IA, constituye un desafío de gran envergadura. La existencia de marcos regulatorios y directrices orientadas al desarrollo ético e implementación de la IA en la atención médica, incluyendo las imágenes dentomaxilofaciales, resulta esencial para sostener la seguridad y el bienestar del paciente. Para afrontar estos desafíos y limitaciones se requiere un enfoque multidisciplinario que involucre la colaboración entre profesionales de la salud, científicos de datos, expertos en ética y formuladores de políticas con el propósito de establecer pautas éticas, mitigar los sesgos y salvaguardar la privacidad del paciente en la aplicación de la IA en las imágenes dentomaxilofaciales.



Desafíos y limitaciones técnicas y la necesidad de algoritmos robustos

Calidad y variabilidad de la imagen

Las imágenes dentomaxilofaciales engloban una amplia gama de modalidades de imágenes, cada una con sus propias características y desafíos únicos. La variabilidad en la calidad de la imagen, incluyendo variaciones en el contraste, la resolución y la presencia de artefactos, plantea desafíos sustanciales para los algoritmos de IA. Se requieren algoritmos de sólida robustez para abordar esta variabilidad y asegurar un rendimiento constante en diversos conjuntos de datos de imágenes.

Complejidad y variabilidad anatómica

La anatomía intrincada y variable de la región dentomaxilofacial presenta desafíos considerables para la precisa interpretación y análisis de las imágenes. Los algoritmos sólidos deben considerar de manera adecuada las variaciones anatómicas, tales como la morfología dental, las estructuras maxilofaciales y las características de los tejidos blandos con el fin de garantizar resultados precisos y confiables.

Ruido y artefactos

Las imágenes dentomaxilofaciales son susceptibles al ruido y la presencia de artefactos, lo que puede impactar negativamente en la precisión de los algoritmos de IA. Es esencial que los algoritmos de sólida robustez sean capaces de reducir el ruido, corregir los artefactos y aplicar técnicas de procesamiento de imágenes adaptativas para mejorar la calidad de los datos de imágenes y, en consecuencia, la precisión en el diagnóstico.

Heterogeneidad y escalabilidad de los datos

La heterogeneidad inherente a los datos de imágenes, que abarca variaciones en los parámetros de adquisición, características demográficas de los pacientes e indicaciones clínicas, presenta desafíos notables para los algoritmos de IA. Los algoritmos de sólida robustez deben ser escalables y adaptables para acomodar diversos conjuntos de datos, garantizando un rendimiento constante en distintos contextos de imágenes.

Interpretabilidad y explicabilidad

La interpretabilidad y explicabilidad de los algoritmos de IA en imágenes dentomaxilofaciales revisten importancia fundamental para la aceptación y confianza en el ámbito clínico. Los algoritmos de sólida robustez deben proporcionar resultados transparentes y fácilmente interpretables, lo que permitiría a los profesionales médicos comprender y validar el razonamiento subyacente en los conocimientos generados por la IA.

Generalización y validación

La capacidad de generalización de los algoritmos de IA a diferentes poblaciones de pacientes y entornos clínicos es crítica para su utilidad clínica. Los algoritmos de sólida robustez deben someterse a procesos rigurosos de validación y pruebas para asegurar su capacidad de generalización y su confiabilidad en diversas aplicaciones del mundo real.

Abordar estos desafíos técnicos y satisfacer la necesidad de algoritmos de sólida robustez en la IA, aplicada a imágenes dentomaxilofaciales, requiere el desarrollo de métodos computacionales avanzados, entre ellos el aprendizaje profundo, el aprendizaje automático y la visión por computadora, además de la integración de la experiencia en dominios específicos aportada por profesionales médicos y dentales.

Direcciones futuras en IA para imágenes dentomaxilofaciales

El futuro de la Inteligencia Artificial en el ámbito de las imágenes dentomaxilofaciales promete mejoras sustanciales en las capacidades de diagnóstico, la planificación del tratamiento y la atención al paciente. Las posibles direcciones y tendencias futuras en IA para imágenes dentomaxilofaciales incluyen:

- 1. Capacidades de diagnóstico mejoradas:** Se espera que los algoritmos de IA continúen perfeccionando la precisión diagnóstica en imágenes dentomaxilofaciales, lo que permite una detección más precisa y eficiente de afecciones dentales y maxilofaciales.
- 2. Planificación de tratamiento personalizada:** La IA tiene el potencial de facilitar la planificación de tratamientos personalizados en imágenes dentomaxilofaciales, aprovechando datos específicos del paciente para optimizar estrategias y resultados de tratamiento.
- 3. Automatización del análisis de imágenes:** Futuros desarrollos pueden enfocarse en la automatización de tareas de análisis de imágenes, como segmentación, extracción de características y reconocimiento de patrones para optimizar flujos de trabajo y mejorar la eficiencia en imágenes dentomaxilofaciales.
- 4. Integración de la radiómica y la IA:** Se anticipa que la integración de análisis basados en la radiómica con algoritmos de IA desempeñe un rol destacado en el avance de las imágenes dentomaxilofaciales, al

proporcionar información valiosa para la caracterización de enfermedades y planificación del tratamiento.

5. **Consideraciones éticas y regulatorias:** Los futuros desarrollos en IA para imágenes dentomaxilofaciales probablemente conllevarán la creación de pautas éticas y marcos regulatorios para garantizar un uso responsable y ético de las tecnologías de IA en la atención médica.
6. **Interpretabilidad y transparencia:** Se está poniendo un énfasis creciente en desarrollar modelos de IA con una mejor interpretabilidad y transparencia, lo que permite a los médicos comprender y validar el razonamiento detrás de los conocimientos generados por la IA en imágenes dentomaxilofaciales.
7. **Sistemas de apoyo a decisiones clínicas:** Se espera que los sistemas de apoyo a decisiones clínicas basados en IA desempeñen un papel más prominente en imágenes dentomaxilofaciales, al brindar valiosa asistencia a profesionales de la salud en diagnóstico y planificación de tratamiento.
8. **Avances en tecnologías de imágenes:** Los futuros desarrollos en IA para imágenes dentomaxilofaciales pueden estar intrínsecamente ligados a avances en tecnologías de imágenes, como la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) y las imágenes en 3D, lo que permitirá la integración de herramientas impulsadas por IA para mejorar la capacidad de diagnóstico.
9. **Investigación e innovación en imágenes dentomaxilofaciales:** Exploración de técnicas avanzadas de reconstrucción de imágenes, como la reconstrucción iterativa basada en modelos (MBIR) y algoritmos basados en aprendizaje profundo, para mejorar la calidad de la imagen, reducir artefactos y aumentar la precisión diagnóstica en imágenes dentomaxilofaciales. Además, la investigación podría centrarse en la integración de modalidades de imágenes multimodales, como combinar la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT) con otras técnicas de imágenes, como la resonancia magnética.

Estas posibles direcciones y tendencias futuras en IA para imágenes dentomaxilofaciales tienen el potencial de contribuir significativamente a la mejora de la atención al paciente, la precisión diagnóstica y la optimización de la planificación de tratamientos en el ámbito de la radiología dental y maxilofacial.

CONSIDERACIONES FINALES

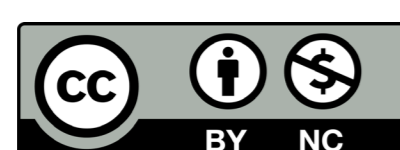
La creciente incorporación de la Inteligencia Artificial en el campo de las imágenes dentomaxilofaciales promete una revolución en la práctica odontológica y maxilofacial. A medida que esta tecnología sigue avanzando es imperativo abordar ciertos aspectos clave para garantizar su aplicación ética y eficaz. Es fundamental enfocarse en la seguridad y privacidad de los datos de los pacientes. Las imágenes dentomaxilofaciales contienen información altamente sensible y el uso de la IA debe cumplir estrictamente con las normativas de protección de datos, como HIPAA y GDPR.

Por otra parte, para garantizar diagnósticos justos y precisos es necesario nutrir los algoritmos con conjuntos de datos diversos y representativos. Además, la transparencia algorítmica es esencial para comprender y abordar cualquier sesgo potencial.

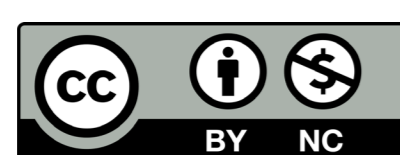
Los profesionales de la salud deben mantener su papel central en la toma de decisiones clínicas, utilizando la IA como una herramienta de apoyo, no como un reemplazo. Los pacientes deben ser informados de manera adecuada sobre el uso de la IA en su atención médica y deben tener la opción de dar su consentimiento informado. Los modelos deben ser capaces de proporcionar justificaciones claras y comprensibles para sus decisiones, lo que permitirá a los profesionales de la salud confiar en las recomendaciones de la IA y validar su razonamiento. Con un enfoque cuidadoso en la ética, la seguridad de los datos y la calidad de los algoritmos, se puede aprovechar al máximo esta tecnología para mejorar la atención al paciente y la práctica clínica en el campo de la radiología dental y maxilofacial.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Jain S, Choudhary K, Nagi R, Shukla S, Kaur N, Grover D. New evolution of cone-beam computed tomography in dentistry: combining digital technologies. *Imaging Science in Dentistry*. 2019;49(3):179. DOI: <https://doi.org/10.5624/isd.2019.49.3.179>
2. Patel S, Dawood A, Ford T, Whaites E. The potential applications of cone beam computed tomography in the management of endodontic problems. *Int Endod J*. 2007;40(10):818-30. DOI: <https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2007.01299.x>
3. Oenning A, Jacobs R, Pauwels R, Stratis A, Hedeşiu M, Salmon B. Cone-beam CT in paediatric dentistry: dimitra project position statement. *Pediatr Radiol*. 2017 [acceso 28/11/2023];48(3):308-16. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00247-017-4012-9>
4. Hung K, Yeung A, Tanaka R, Bornstein M. Current applications, opportunities, and limitations of ai for 3D imaging in dental research and practice. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2020;17(12):4424. DOI: <https://doi.org/10.3390/ijerph17124424>
5. Kumar M, Madi M, Pentapati K, Vineetha R. Reliability of linear and curvilinear measurements on cone-beam computed tomography images for the evaluation of implant sites and jaw pathologies. *Pesquisa Brasileira Em Odontopediatria e Clínica Integrada*. 2021;21. DOI: <https://doi.org/10.1590/pboci.2021.023>
6. Pauwels R, Faruangsang T, Charoenkarn T, Ngonphloy N, Panmekiate S. Effect of exposure parameters and voxel size on bone structure analysis in CBCT. *Dentomaxillofac Radiol*. 2015;44(8):20150078. DOI: <https://doi.org/10.1259/dmfr.20150078>



7. Cakli H, Cingi C, Ünüvar Y, Oghan F, Özer T, Kaya E. Use of cone beam computed tomography in otolaryngologic treatments. *European Archives of Oto-Rhino-Laryngology*. 2011;269(3):711-20. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00405-011-1781-x>
8. Nazerani T, Kalmar P, Aigner R. Emerging role of nuclear medicine in oral and maxillofacial surgery. DOI: <https://doi.org/10.5772/intechopen.92278>
9. Hosny A, Parmar C, Quackenbush J, Schwartz L, Aerts H. Artificial intelligence in radiology. *Nature Reviews Cancer*. 2018;18(8):500-10. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41568-018-0016-5>
10. Leite A, Vasconcelos K, Willems H, Jacobs R. Radiomics and machine learning in oral healthcare. *Proteomics-Clinical Applications*. 2020;14(3). DOI: <https://doi.org/10.1002/prca.201900040>
11. Leite A, Gerven A, Willems H, Beznik T, Lahoud P, Gaëta-Araujo H, et al. Artificial intelligence-driven novel tool for tooth detection and segmentation on panoramic radiographs. *Clinical Oral Investigations*. 2020;25(4):2257-67. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00784-020-03544-6>
12. Jaskari J, Sahlsten J, Järnstedt J, Mehtonen H, Karhu K, Sundqvist O, et al. Deep learning method for mandibular canal segmentation in dental cone beam computed tomography volumes. *Scientific Reports*. 2020;10(1). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-62321-3>
13. Amasya H, Alkhader M, Serindere G, Futyma-Gqbka K, Belgin C, Gusev M, et al. Evaluation of a decision support system developed with deep learning approach for detecting dental caries with cone-beam computed tomography imaging. 2023. DOI: <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3108030/v1>
14. Gokdeniz S, Kamburoğlu K. Artificial intelligence in dentomaxillofacial radiology. *World Journal of Radiology*. 2022;14(3):55-9. DOI: <https://doi.org/10.4329/wjr.v14.i3.55>
15. Park W, Park J. History and application of artificial neural networks in dentistry. *Eur J Dent*. 2018;12(04):594-601. DOI: https://doi.org/10.4103/ejd.ejd_325_18
16. Suomalainen A, Esmaeili E, Robinson A. Dentomaxillofacial imaging with panoramic views and cone beam CT. *Insights Imaging*. 2015;6(1):1-16. DOI: <https://doi.org/10.1007/s13244-014-0379-4>
17. Krishnamoorthy B, Mamatha N, Kumar V. TMJ imaging by CBCT: current scenario. *Annals of Maxillofacial Surgery*. 2013;3(1):80. DOI: <https://doi.org/10.4103/2231-0746.110069>
18. Nagi R, Konidena A, Rakesh N, Gupta R, Pal A, Mann A. Clinical applications and performance of intelligent systems in dental and maxillofacial radiology: a review. *Imaging Science in Dentistry*. 2020;50(2):81. DOI: <https://doi.org/10.5624/isd.2020.50.2.81>
19. Xiao Y, Liang Q, Zhang L, He X, Lv L, Endian S, et al. Construction of a new automatic grading system for jaw bone mineral density level based on deep learning using cone beam computed tomography. *Sci Rep*. 2022;12(1). DOI: <https://doi.org/10.1038/s41598-022-16074-w>
20. Belmans N, Gilles L, Virág P, Hedeşiu M, Salmon B, Baatout S, et al. Method validation to assess in vivo cellular and subcellular changes in buccal mucosa cells and saliva following cbct examinations. *Dentomaxillofacial Radiology*. 2019;48(6):20180428. DOI: <https://doi.org/10.1259/dmfr.20180428>
21. Fatima M, Pasha M. Survey of machine learning algorithms for disease diagnostic. *Journal of Intelligent Learning Systems and Applications*. 2017;9(1):1-16. DOI: <https://doi.org/10.4236/jilsa.2017.91001>
22. Yasaka K, Akai H, Kunimatsu A, Kiryu S, Abe O. Deep learning with convolutional neural network in radiology. *Jpn J Radiol*. 2018;36(4):257-72. DOI: <https://doi.org/10.1007/s11604-018-0726-3>
23. Singh C. Medical imaging using deep learning models. *Eur J Eng Technol Res*. 2021;6(5):156-67. DOI: <https://doi.org/10.24018/ejeng.2021.6.5.2491>
24. Du W, Rao N, Liu D, Jiang H, Luo C, Li Z, et al. Review on the applications of deep learning in the analysis of gastrointestinal endoscopy images. *IEEE Access*. 2019;7:142053-69. DOI: <https://doi.org/10.1109/access.2019.2944676>
25. Tang Y, Qiu J, Gao M. Fuzzy medical computer vision image restoration and visual application. *Comput Math Methods Med*. 2022;2022:1-10. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/6454550>
26. Wijaya N. Capital letter pattern recognition in text to speech by way of perceptron algorithm. *Knowl Eng Data Sci*. 2017 [acceso 28/11/2023];1(1):26. <https://journal2.um.ac.id/index.php/keds/article/view/1289>
27. Szabó B, Dobai A, Dobó-Nagy C. Cone-beam computed tomography in dentomaxillofacial radiology. [acceso 28/11/2023]. Disponible en: <https://www.intechopen.com/chapters/70883>
28. Sukovic P. Cone beam computed tomography in craniofacial imaging. *Orthod Craniofac Res*. 2003;6(s1):31-6. DOI: <https://doi.org/10.1034/j.1600-0544.2003.259.x>
29. Bansal S. Determining disease using machine learning algorithm in medical image processing: a gentle review. *Biomedical Statistics and Informatics*. 2021;6(4):84. DOI: <https://doi.org/10.11648/j.bsi.20210604.13>
30. Hwang J, Jung Y, Cho B, Heo M. An overview of deep learning in the field of dentistry. *Imaging Science in Dentistry*. 2019;49(1):1. DOI: <https://doi.org/10.5624/isd.2019.49.1.1>
31. Hatvani J, Horváth A, Michetti J, Basarab A, Kouamé D, Gyöngy M. Deep learning-based super-resolution applied to dental computed tomography. *IEEE Transactions on Radiation and Plasma Medical Sciences*. 2019;3(2):120-8. DOI: <https://doi.org/10.1109/trpms.2018.2827239>
32. Farook T, Jamayet N, Abdullah J, Alam M. Machine learning and intelligent diagnostics in dental and orofacial pain management: a systematic review. *Pain Research and Management*. 2021;2021:1-9. DOI: <https://doi.org/10.1155/2021/6659133>
33. Khanagar S, Al-Ehaideb A, Maganur P, Vishwanathaiah S, Patil S, Baesheh H, et al. Developments, application, and performance of artificial intelligence in dentistry—a systematic review. *Journal of Dental Sciences*. 2021;16(1):508-22. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jds.2020.06.019>
34. Lee K, Kwak H, Oh J, Jha N, Kim Y, Kim W, et al. Automated detection of TMJ osteoarthritis based on artificial intelligence. *Journal of Dental Research*. 2020;99(12):1363-7. DOI: <https://doi.org/10.1177/0022034520936950>
35. Kong Z, Xiong F, Zhang C, Fu Z, Zhang M, Weng J, et al. Automated maxillofacial segmentation in panoramic dental x-ray images using an efficient encoder-decoder network. *Ieee Access*. 2020;8:207822-33. DOI: <https://doi.org/10.1109/access.2020.3037677>
36. Bayrakdar I, Orhan K, Çelik Ö, Bilgir E, Sağlam H, Kaplan F, et al. A u-net approach to apical lesion segmentation on panoramic radiographs. *Biomed Research International*. 2022;2022:1-7. DOI: <https://doi.org/10.1155/2022/7035367>
37. Kanuri N, Abdelkarim A, Rathore S. Trainable weka (waikato environment for knowledge analysis) segmentation tool: machine-learning-enabled segmentation on features of panoramic radiographs. *Cureus*. 2022. DOI: <https://doi.org/10.7759/cureus.21777>
38. Song Y, Jeong H, Kim C, Kim D, Kim J, Kim H, et al. Comparison of detection performance of soft tissue calcifications using artificial intelligence in panoramic radiography. *Sci Rep*. 2022;12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22595-1>
39. Lubner M, Smith A, Sandrasegaran K, Sahani D, Pickhardt P. Ct texture analysis: definitions, applications, biologic correlates, and challenges. *Radiographics*. 2017;37(5):1483-503. DOI: <https://doi.org/10.1148/rq.2017170056>
40. Rizzo S, Botta F, Raimondi S, Origgi D, Fanciullo C, Morganti A, et al. Radiomics: the facts and the challenges of image analysis. *Eur Radiol Exp*. 2018;2(1). DOI: <https://doi.org/10.1186/s41747-018-0068-z>
41. Song J, Yin Y, Wang H, Chang Z, Liu Z, Cui L. A review of original articles published in the emerging field of radiomics. *Eur J Radiol*. 2020;127:108991. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ejrad.2020.108991>
42. Nioche C, Orhac F, Boughdad S, Reuzé S, Goya-Outi J, Robert C, et al. Lifex: a freeware for radiomic feature calculation in multimodality imaging to accelerate advances in the characterization of tumor heterogeneity. *Cancer Res*. 2018;78(16):4786-9. DOI: <https://doi.org/10.1158/0008-5472.can-18-0125>
43. Sollini M, Antunovic L, Chiti A, Kirienko M. Towards clinical application of image mining: a systematic review on artificial intelligence and radiomics. *Eur J Nucl Med Mol Imaging*. 2019;46(13):2656-72. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00259-019-04372-x>



CONFLICTO DE INTERESES

El autor declara que no tiene conflicto de intereses.

