

Aplicación de la inteligencia artificial en Odontología: revisión de la literatura

Application of artificial intelligence in dentistry: literature review

Génesis Cacánahuaray-Martínez ^{1,a}, Dora Gómez-Meza ^{1,b},
Víctor Lamas-Lara ^{1,b}, María Eugenia Guerrero ^{1,c}

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Odontología, Lima, Perú.

^a Estudiante del pregrado.

^b Magister en Estomatología.

^c Doctora en Ciencia Biomédica.

Correspondencia:

María Eugenia Guerrero: mguerreroac@unmsm.edu.pe
Universidad Nacional Mayor de San Marcos, Facultad de Odontología, Lima, Perú
Calle Germán Amézaga 375 – Cercado de Lima.
ORCID: 0000-0001-5425-870X

Coautores:

Génesis Cacánahuaray-Martínez: genesis.cacnahuaray@unmsm.edu.pe
ORCID: 0000-0002-6243-4790
Dora Gómez-Meza: dgomez@unmsm.edu.pe
ORCID: 0000-0001-7564-3404
Víctor Lamas-Lara: vlamasl@unmsm.edu.pe
ORCID: 0000-0001-9225-7417

Editora:

Rosse Mary Falcón-Antenucci
Universidad Inca Garcilaso de la Vega, Perú.

Conflicto de intereses: María Eugenia Guerrero es editora adjunta de la revista Odontología Sanmarquina.

Fuente de financiamiento: autofinanciado

Recibido: 04/06/21

Aceptado: 11/06/21

Publicado: 01/07/21

Resumen

En este artículo se revisó sobre inteligencia artificial (IA) y su aplicación en el campo odontológico. El objetivo fue revisar la evidencia sobre inteligencia artificial y su aplicación en las diferentes especialidades odontológicas. Se realizó una búsqueda en las bases de datos de Medline/PubMed, Scopus y Web of Science desde el año 2017 al 2021. Se encontraron 321 artículos, de los cuales se seleccionaron 62, que mostraron la aplicación de la IA en seis especialidades: periodoncia, implantología, odontología forense, medicina y patología oral, ortodoncia y diagnóstico/cariología/endodoncia. Se encontró que la especialidad con más artículos sobre el tópico de IA fue la de diagnóstico/cariología/endodoncia y el tipo de inteligencia artificial que más se utilizó fue el de red neural convolucional. Se concluyó que la IA se está utilizando ampliamente en odontología demostrando resultados prometedores ya que muestran una precisión equivalente a la de diferentes especialistas capacitados y en algunos casos superan los errores humanos demostrando excelentes resultados.

Palabras clave: Inteligencia artificial; Aprendizaje profundo; Aprendizaje automático; Odontología; Especialidades odontológicas (fuente: DeCS BIREME).

Abstract

The application of artificial intelligence (AI) in the dental field was reviewed in this article. The objective was to review the evidence on artificial intelligence and its application in the different dental specialties. A search was carried out on Medline/PubMed, Scopus and Web of Science databases from 2017 to 2021. Three hundred and twenty-one articles were found, of which 62 were selected and allowed the application of AI in six specialties: periodontology, implantology, forensic dentistry, oral medicine and pathology, orthodontics and diagnostic/cariology/endodontics. The specialty of diagnosis/cariology/endodontics had more articles on the topic of AI and convolution neural network was the type of AI most used. It was concluded that AI is being widely used in dentistry showing promising results as they show an accuracy equivalent to that of different trained specialists and in some cases they overcome human errors showing excellent results.

Keywords: Artificial intelligence; Deep learning; Machine learning; Dentistry; Dental specialties (source: MeSH NLM).

Introducción

El crecimiento tecnológico ha introducido diferentes aplicaciones que se encuentran dentro del área de la inteligencia artificial (IA) y sus componentes. El término IA se asocia principalmente con la robótica y describe cómo la tecnología se utiliza para desarrollar un software que pueda imitar fácilmente la inteligencia humana y realizar tareas específicas. La inteligencia artificial nació en 1956 con Dartmouth quien abrió un gran potencial en el campo de la investigación incluyendo las redes neuronales y otras teorías de computación¹. Sin embargo, al inicio se tuvo que enfrentar numerosos desafíos como las altas expectativas de los sistemas de inteligencia artificial y diferentes limitaciones de esa época como la accesibilidad a los datos².

En la actualidad la inteligencia artificial se refiere a cualquier tecnología que sea capaz de imitar las habilidades cognitivas de los humanos. Para entender la IA, es importante conocer algunos de estos aspectos clave:

- Inteligencia artificial es la capacidad de la tecnología de demostrar una forma de su propia inteligencia. El objetivo es desarrollar máquinas que puedan aprender a través de datos para que puedan resolver problemas.
- El aprendizaje automático es parte de la IA, depende de algoritmos para predecir resultados basados en un conjunto de datos. El propósito del aprendizaje automático es facilitar el aprendizaje de los datos por parte de las máquinas para que puedan resolver problemas sin la intervención humana.
- Las redes neuronales son un conjunto de algoritmos que calculan señales a través de neuronas artificiales. El poder computacional de estas redes se basa en la calidad y cantidad de datos, que permiten que estas redes actualicen el peso de las conexiones. El propósito de las redes neuronales es crear redes neuronales que funcionen como el cerebro humano³.
- El aprendizaje profundo es un componente del aprendizaje automático que utiliza una red de múltiples capas neuronales entre las capas de entrada y salida⁴. El propósito del aprendizaje profundo es construir una red neuronal que identifique automáticamente patrones de detección. El aprendizaje profundo también se conoce como red neuronal convolucional, es utilizado principalmente para procesar imágenes grandes y complejas y es la más utilizada en Odontología⁵. El aprendizaje profundo se está acelerando con el desarrollo de algoritmos de autoaprendizaje que progresivamente refinan los resultados de los datos (Figura). Debido a estos rápidos avances tecnológicos, la IA, representada por el aprendizaje profundo, se puede aplicar en todos los sectores de la sociedad.

La atención al paciente podría mejorarse con la IA, podría ayudar al diagnóstico y reducir los errores en la práctica clínica. Se pueden utilizar las radiografías digitales, ya que tiene un gran potencial para mejorar el proceso de diagnóstico en radiología con la ayuda de la

IA. El objetivo de la presente revisión es conocer como la inteligencia artificial se acerca a los niveles de experiencia humana en el contexto de las diferentes especialidades odontológicas.

Métodos

Se realizó una búsqueda electrónica en las siguientes bases de datos: Medline/PubMed, Scopus y Web of Science desde 2017 hasta 2021. Para la búsqueda en Pubmed se utilizó la siguiente estrategia de búsqueda: ((“artificial intelligence”[MeSH Major Topic] OR “computational intelligence”[Title/Abstract] OR “machine intelligence”[Title/Abstract] OR “artificial intelligence”[Title/Abstract] OR “computer reasoning”[Title/Abstract] OR “computer vision systems”[Title/Abstract] OR “machine learning”[Title/Abstract] OR “deep learning”[Title/Abstract]) AND ((“periodontics”[Title/Abstract] OR “endodontics”[Title/Abstract] OR “orthodontics”[Title/Abstract] OR “prosthodontics”[Title/Abstract] OR “oral radiology”[Title/Abstract] OR “diagnostic imaging”[Title/Abstract] OR “dental implants”[Title/Abstract] OR “maxillofacial surgery”[Title/Abstract] OR “oral surgery”[Title/Abstract] OR “forensic dentistry”[Title/Abstract])). Para la búsqueda realizada en las bases de datos de Scopus y Web of Science se utilizaron los siguientes términos con OR: “Artificial Intelligence”, “computational intelligence”, “machine intelligence”, “Machine Learning”, “Deep Learning”, “Dental Radiography” unidos por AND a las siguientes palabras: “periodontics”, “endodontics”, “orthodontics”, “prosthodontics”, “oral radiology”, “diagnostic imaging”, “dental implants”, “maxillofacial surgery”, “oral surgery” y “forensic dentistry”.

Los criterios de inclusión fueron artículos que reportaran sobre IA y su aplicación en las diferentes especialidades odontológicas, artículos que presenten resultados medibles, artículos con una adecuada descripción del modelo de IA, artículos en inglés y español. Se excluyeron artículos relacionados a la Odontología que no mencionen IA, artículos en *pre print* que no estén publicados, artículos que constaban únicamente de resúmenes sin el texto completo: Posters congreso, artículos que solo describían el modelo de IA, artículos de revisión, cartas al editor y artículos de encuestas de percepción de IA. Tres revisores (GC, DG y VL) extrajeron los datos de los estudios consignándolos en una tabla. Los artículos seleccionados se consignaron en una tabla, donde se presentan los datos más resaltantes que incluyeron datos de los autores, país y año de publicación, unidad de estudio, modalidad de imagen, número de imágenes analizadas, tipo de inteligencia artificial, resultados principales y especificidad/sensibilidad/precisión.

Resultados

La búsqueda electrónica realizada dio un resultado de 321 artículos de los cuales 62, fueron seleccionados de acuerdo con los criterios de inclusión y exclusión. Los artículos seleccionados y sus principales características se describen en las Tablas 1-4. Dentro de las especialidades que incluyeron algoritmos de aprendizaje profundo

Tabla 1. Aplicación dental de la IA en periodoncia e implantología

Autor	País y año	Unidad de estudio	Modalidad	Imágenes totales	Tipo de inteligencia artificial	Resultado principal	Precisión (P), sensibilidad (S), especificidad (E)
Chang <i>et al.</i> ⁷	Korea 2020	Nivel óseo	Rx. panorámica	330	Hybrid Framework: Deep learning architecture y CAD (computer aided diagnoses) R-CNN	El <i>Hybrid Framework</i> y el CAD demostraron alta precisión y confiabilidad en el diagnóstico de pérdida ósea y nivel de periodontitis	-
Thanathornwong <i>et al.</i> ⁸	Tailandia 2020	Dientes periodontalmente comprometidos	Rx. panorámica	100	R-CNN	Desempeño satisfactorio en detección de dientes con compromiso periodontal.	0,8 (P) 0,84 (S) 0,88 (E)
Farhadian <i>et al.</i> ¹¹	Irán 2020	Pacientes con enfermedad periodontal	Registro clínico Rx. periapical	300	SVM (<i>Support vector machine</i>)	El sistema facilita el diagnóstico de enfermedad periodontal	88,70% (P)
Krois <i>et al.</i> ⁹	Alemania 2019	Pérdida ósea periodontal	Rx. panorámica (segmentos)	2001	CNN	El CNN mostró una discriminación de PBL similar al de los dentistas	0,81 (P) 0,81 (S) 0,81 (E)
Lee <i>et al.</i> ¹⁰	Corea 2018	Dientes periodontalmente comprometidos (premolar y molar)	Rx. periapical	1740	CNN y <i>self-trained network</i>	El CNN demostró ser útil en el diagnóstico y predicción de dientes comprometidos periodontalmente	76,7-81 % (P)
Lee <i>et al.</i> ¹⁶	Corea 2021	Implante fracturado	Rx. panorámica Rx. periapical	21398	<i>Deep convolutional neural network (DCNN) architectures (VGGNet-19, GoogLeNet, Inception, V3 and auto-trained DCNN)</i>	Las DCNN mostraron precisión aceptable en la detección y clasificación de DI fracturado	> 0,80 (P) 0,85- 0,901 (S) 0,70- 0,85 (E)
Hadj Said <i>et al.</i> ¹²	Francia 2020	Implante dental	Rx. panorámica Rx. periapical	1206	CNN	El CNN tuvo muy buen desempeño en la identificación de un implante dental a partir de una radiografía	93,80% (P) 93,50% (S) 94,20% (E)
Lerner <i>et al.</i> ¹⁸	Alemania 2020	Coronas individuales	Implante	106	Fully digital workflow	La adaptación marginal, calidad de los contactos interproximales y oclusales como la estética de las coronas de zirconio fueron óptimos	91,3% (P)
Cha <i>et al.</i> ¹⁵	Corea 2020	Pérdida ósea periimplantaria	Rx. periapical	708	CNN	No diferencias estadísticas entre el modelo CNN y el odontólogo para detectar periimplantitis	93,6-97,1 (S) 95,7-99,5% (E)
Lee <i>et al.</i> ³⁶	Corea 2020	Clasificación e identificación de implantes dental	Rx. panorámica Rx. periapicales	10770	CNN (google net, inception V3)	Útil para la identificación y clasificación de implantes	-
Takahashi <i>et al.</i> ¹³	Japón 2020	Implante dental	Rx. panorámica	1282	Yolov-3, TensorFlow and Keras deep-learning	Identificación asertiva del implante de 6 tipos de implantes de tres marcas comerciales	0,51-0,85 (P)
Lee <i>et al.</i> ¹⁴	Corea 2020	Clasificación de sistemas de implantes	Rx. panorámica Rx. periapicales	11980	DCNN	DCNN fue muy eficaz en la clasificación de implantes de formas similares de diferentes tipos de DIS en relación con odontólogos	0,954 (P) 0,955 (S) 0,853 (E)
Ha <i>et al.</i> ¹⁷	Corea 2018	Edéntulos parciales	Registros clínicos	667	SVM (Support vector machine) with LOOCV	La posición mesiodistal del implante influye significativamente en el pronóstico del implante	0,85 (P)
Mahri <i>et al.</i> ¹⁹	Canadá 2020	Literatura que evalúa el efecto de los medicamentos sobre la osteointegración	Datos de artículos	599604	Clasificador <i>MeSH</i> de aprendizaje automático	Osteointegración puede alterarse por fármacos que afectan las actividades metabólicas implicadas en su proceso	-

Tabla 2. Aplicación dental de la IA en odontología forense, medicina y patología oral

Autor	País y año	Unidad de estudio	Modalidad	Imágenes totales	Tipo de inteligencia artificial	Resultado principal	Precisión (P), sensibilidad (S), especificidad (E)
Sathya <i>et al.</i> ²⁰	India 2020	Piezas dentarias	Rx. panorámica	106 Rx 3159 dientes	AlexNet	Identificación de la persona con el análisis de una pieza en una Rx. panorámica	95 incisivos. 94,5 caninos; 94 premolares 97,5 molares (P)
Banjšak <i>et al.</i> ²¹	Croacia 2020	Piezas dentarias	Rx. panorámica	4035 vivos 89 cadáveres	DCNN	Este método puede usarse para la estimación de la edad usando Rx. panorámica	73% (P)
Patil <i>et al.</i> ²⁶	India 2020	Mandíbula	Rx. panorámica	509	ANN (Artificial Neural Networks)	ANN demostró ser una buena herramienta para predecir el género ya que automatiza y facilita el método de identificación con errores mínimos	75% (P)
Vila-Blanco <i>et al.</i> ²⁴	España 2020	Estructuras orales	Rx. panorámica	2289	CNN (Dantet y Dantet)	DASNet puede predecir automáticamente la edad cronológica de un sujeto, sobre todo con dentición en desarrollo	-
De Back <i>et al.</i> ²⁵	Alemania 2019	Maxilar superior y mandíbula	Rx. panorámica	>12000	BNN (red neuronal convolucional bayesiana)	Este modelo proporciona una estimación cuantitativa de la edad y la incertidumbre, que es imperativa dentro de un contexto legal.	-
Stern <i>et al.</i> ²³	Austria 2017	Estructuras óseas	Imágenes de resonancia magnética esqueléticas y dentales	103	DCNN	Mejora de la sensibilidad del sistema multifactorial	-
De Tobel <i>et al.</i> ²²	Bélgica 2017	Piezas dentarias	Rx. panorámica	400	DCNN	El desempeño de esta técnica para estadificar el desarrollo del tercer molar inferior fue similar a la estadificación realizada por observadores humanos	0,51 (P)
Fidya <i>et al.</i> ²⁷	Indonesia 2017	Pieza dentaria: canino	Medición del diente	150	ANN Naive Bayes, decision tree, and multi-layer perceptron (MLP) methods	El uso del ANN produjo un proceso de identificación de alta precisión relacionado con la determinación del género usando los dientes caninos	82% (P) 84% (P)
Lee <i>et al.</i> ²⁹	Corea 2029	Lesiones quísticas odontogénicas	Rx. panorámica dental y tomografía (CBCT)	1140 Rx. y 986 tomografías	Deep CNN architecture	Detección y diagnóstico de lesiones quísticas	0,914 (CBCT) (P) 0,847 (Rx) (P)
Kim <i>et al.</i> ³²	Corea 2019	Predicción de cáncer oral	Registros de pacientes	255	Deep learning based survival prediction algorithm (DeepSurv)	Mayor rendimiento en predicciones en comparación con métodos como RSF y CPH	-
Yang <i>et al.</i> ³⁰	Corea 2020	Quistes dentígeros, queratoquiste odontogénico, ameloblastoma	Rx. panorámica	1602	Deep convolutional neural network You Only Look Once (YOLO) v2	Utilidad en la detección de quistes y tumores	0,663 (P)
Tighe <i>et al.</i> ³¹	Reino Unido 2020	Márgenes post quirúrgicos de carcinoma de células escamosas	Registros de pacientes	1316	Classical decision tree algorithm (J48); RF; Naive Bayes Classifier; LR	Predicción de la positividad de los márgenes tumorales como indicativo de la calidad de atención	-
Sakai <i>et al.</i> ³⁷	Japón 2021	Maniquí dental	Tomografía computarizada de ultra alta resolución (UHRCT)	60	Deep learning-based reconstruction (DLR) y hybrid iterative reconstruction (HIR) using the algorithm MAR.	Mejora en el impacto del algoritmo de reducción de artefactos metálicos SEMAR	-
Hung <i>et al.</i> ³³	EEUU 2020	Historias clínicas	Registros de pacientes	177714	Linear regression, DT, RF y Extreme gradient boosting (xgboost).	Explorar factores predictores y predicción de la supervivencia en casos de cáncer oral	-
Fu <i>et al.</i> ³⁴	China 2020	Carcinoma de células escamosas	Fotografías	6176	DL using a cascade CNN	Detección de cáncer oral comparable con especialistas humanos	92,3% (P) 91% (S) 93,5% (E)

Tabla 3. Aplicación dental de la IA en ortodoncia y cirugía oral

Autor	País y año	Unidad de estudio	Modalidad	Imágenes totales	Tipo de inteligencia artificial	Resultado principal	Precisión (P), sensibilidad (S), especificidad (E)
Patcas <i>et al.</i> ³⁵	Suiza 2018	Análisis estético facial	Fotografías	2164	Computational algorithm comprising a face detector and CNNs	Impacto del tratamiento de ortodoncia en el atractivo facial y apariencia de edad.	-
Vrancx <i>et al.</i> ³⁶	Bélgica 2020	Angulación de terceras molares	Rx. panorámica	838	CNN con resnet-101	Predictor de la angulación del tercer molar	98,1% (P)
Kök <i>et al.</i> ³⁸	Turquía 2019.	Etapas de vértebras cervicales (maduración).	Rx. panorámica	300	(K-NN), NB, DT, ANN, SVM, RF y Logistic Regression (LR)	ANN permite determinar estadio de crecimiento y desarrollo vertebral	-
Wang <i>et al.</i> ³⁹	Países Bajos 2021	Maxilares	Tomografía (TCV)	30	Mixed-scale dense (ms-d) CNN	Segmentación multiclase de tomografías similares a la segmentación binaria y en menor tiempo	-
Chen <i>et al.</i> ³⁷	China 2020	Volumen maxilar	Tomografía (TCV)	60	Learning-based multi-source integration framework for Segmentation (LINKS)	Variaciones de la estructura maxilar en la impactación canina unilateral	-
Suhail <i>et al.</i> ⁴⁰	EEUU 2020	Piezas dentarias para extraer/no extraer	Fotografías y rx panorámico y cefalométrico	300	Machine learning models	Predicción de extracciones similar a de ortodontistas	-
Rao <i>et al.</i> ⁴⁴	Malasia 2018	Puntos de referencia faciales	Fotografías	22	Deep learning methodology based YOLO architecture	Identificación y análisis de puntos de referencia faciales	97,7% (P)
Kök <i>et al.</i> ³⁸	Turquía 2021	Maduración de vértebras cervicales	Rx. cefalométrica y de mano-muñeca	419	Artificial neural network (ANN)	Periodo de crecimiento-desarrollo y género por vértebras cervicales	86,87% (P)
Jeong <i>et al.</i> ⁴¹	Corea 2021	Análisis cráneo espinal.	Rx. cefalométricas transversales y longitudinales	832	CNN (denser121)	Existen diferencias cráneo espinales entre las clases esqueléticas	-
Yu <i>et al.</i> ⁴²	Corea 2020	Diagnóstico de ortodoncia	Rx cefalométrica	5890	CNN with a modified Desenet	Mejoras en la detección y diagnóstico	96,4% (P)
Lee <i>et al.</i> ⁴⁵	Corea 2020	Puntos de referencia cefalométricos	Rx cefalométrica y dos diagramas de puntos cefalométricos	400	Bayesian convolutional neural networks (BCNN)	Ubicación de puntos de referencia cefalométricos	-
Künz <i>et al.</i> ⁴³	Alemania 2019	Análisis cefalométrico	Rx cefalométricas	1792	Open-source CNN deep learning algorithm (Keras & Google Tensor-flow)	Análisis cefalométrico automatizado	-
Canuso <i>et al.</i> ⁴⁶	Italia 2021	Alineación dentaria	Imágenes	2	Dental Monitoring saas (Software as a Service) and Knowledge-based algorithm	Monitorización dental, control de alineamiento	-
Kwak <i>et al.</i> ⁴⁸	Corea 2020	Canal del nervio alveolar inferior	CBCT	102	DNN architecture (2D SegNet, U-Net 2D, 3D U-Net)	Automatización en la detección de canales	0,99 (P)
Al-Imam <i>et al.</i> ⁴⁹	Iraq 2020	Morfometría pterigomaxilar	Cráneos secos de mujeres y hombres asiáticos adultos	60	ML with non-Bayesian models	Predicción de la inclinación espacial del proceso pterigoideo	-
Cui <i>et al.</i> ⁴⁷	China 2020	Extracción de dientes	Registros dentales electrónicos	4135	CNN architecture (XGBoost)	Alto rendimiento en la toma de decisiones de extracción	0,879 (P)
Ma <i>et al.</i> ⁵⁹	Japón 2020	Puntos de referencia cefalométricos	CBCT	66	DCNN (MIMICS)	Automatización de la localización de puntos de referencia cefalométricos	-

Tabla 4. Aplicación dental del AI en diagnóstico, carielogía y endodoncia

Autor	País y año	Unidad de estudio	Modalidad	Imágenes totales	Tipo de inteligencia artificial	Resultado principal	Precisión (p), sensibilidad (s), especificidad (e)
Hiraiwa <i>et al.</i> ⁵	Japón 2019	Morfología radicular de las primeras molares mandibulares	CBCTRx. panorámicas	760	CNN	Alta precisión en el diagnóstico diferencial de las raíces distales de los primeros molares mandibulares	86,9% (P)
Lee <i>et al.</i> ⁶⁰	Corea 2018	Caries	Rx. periapicales	3000	CNN architecture (GoogLeNet Inception v3)	Alto potencial en la detección y el diagnóstico de la caries dental	89,0% (P)
Mallishery <i>et al.</i> ⁵²	Alemania 2019	Dificultad del tratamiento endodóntico	Pacientes de endodoncia	500	DNN	Evaluación rápida del nivel de dificultad de los tratamientos endodónticos y correcta derivación al especialista	94,96% (S)
Yamaguchi <i>et al.</i> ⁶¹	Japón 2019	Desprendimiento de las coronas de resinas compuestas CAD/CAM	Imágenes 3D	8640	CNN	Rendimiento bueno de la probabilidad de despegado de una corona de RC CAD/CAM	97,0% (P)
Tuzoff <i>et al.</i> ⁶²	Rusia 2019	Identificación de dientes	Rx. panorámica	1352	CNN architecture (VGG-16)	Simplificación de la detección y enumeración de dientes	0,9941 (S)0,9945 (P)
Javed <i>et al.</i> ⁶³	Arabia 2019	Presencia del post-Streptococcus mutans	Molares primarios	45	ANN	Predicción eficiente de la presencia de post-Streptococcus mutans	-
Hung <i>et al.</i> ⁵⁰	EE.UU. 2019	Caries radicular	Ficha de datos	9544	SL	Intervención temprana y tratamiento de la caries radicular	95,1% (P)99,6% (S)99,6% (E)
Casalegno <i>et al.</i> ⁶⁴	Suiza 2019	Caries	Imágenes IR	185	CNN	Mayor velocidad y precisión en la detección de caries	-
Yasa <i>et al.</i> ⁶⁵	Turquía 2020	Identificación de dientes	Rx. de aleta de mordida	1125	R-CNN	Rápida detección y enumeración de dientes	0,9293 (P)0,9748 (S)
Zhang <i>et al.</i> ⁶⁶	China 2020	Caries	Fotos orales	3932	CNN	Mejora la detección de caries en fotos orales	81,90% (S)
Schwendicke <i>et al.</i> ⁵¹	Alemania 2020	Caries proximal	Rx. de aleta de mordida	3293	CNN architecture (U-Net)	Mayor rentabilidad en la detección temprana de caries	0,80 (P)0,75 (S)0,83 (E)
Setzer <i>et al.</i> ⁵³	EE.UU. 2020	Lesiones periapicales	CBCT	20	CNN architecture (U-Net)	Alta precisión en la detección de lesiones	0,93 (P)0,88 (E)
Abdalla-Aslan <i>et al.</i> ⁶⁷	Israel 2020	Restauraciones dentales	Rx. panorámica	83	ML	Excelente rendimiento en la detección y clasificación de restauraciones	93,6% (P)
Jeon <i>et al.</i> ⁵⁵	Corea 2021	Conductos en forma de C en segundos molares mandibulares	CBCT y Rx. panorámica	2040	CNN architecture (Xception)	Precisión en la predicción de conductos en forma de C	92,7 (S)97,0 (E)95,9% (P)
Ekert <i>et al.</i> ⁵⁴	Alemania 2019	Lesiones apicales (LA)	Rx. panorámica	85	CNN	Capacidad discriminativa para detectar LA	0,65 (S)0,87 (E)
Leite <i>et al.</i> ⁶⁸	Alemania 2020	Identificación de dientes	Rx. panorámica	153	CNN	Mayor rapidez y precisión para la detección y segmentación de dientes	98,9% (S)99,6% (P)

en sus metodologías tenemos: periodoncia, implantología, odontología forense, medicina y patología oral, ortodoncia, diagnóstico/cariología y endodoncia. En el análisis de la modalidad utilizada, las radiografías panorámicas fueron las que más prevalecieron, seguidas de las radiografías periapicales y tomografía computarizada volumétrica (TCV). La especialidad con más artículos sobre el tópico de IA fue la de diagnóstico/cariología y endodoncia seguida por la de ortodoncia, implantología, odontología forense, medicina y patología oral, cirugía oral y maxilofacial y periodoncia. Dentro de los diferentes tipos de inteligencia artificial reportados la que más predomina es la de *CNN*.

Revisión y discusión

En el último año se ha evidenciado un crecimiento exponencial en la publicación de artículos sobre la aplicación de la inteligencia artificial en las diferentes especialidades odontológicas. Esto evidencia la implementación de esta tecnología, sobre todo en el diagnóstico de lesiones utilizando diferentes modalidades de imagen principalmente rayos X que se utilizan principalmente para determinar las condiciones de los tejidos duros. Con el pasar del tiempo se han incluido imágenes de radiografías periapicales, panorámicas y cefalométricas. En 2009, Flores *et al.*⁶ propusieron un modelo de IA utilizando imágenes TCV obtenidas de pacientes para distinguir quistes periapicales de granulomas. Posteriormente, diferentes estudios han intentado desarrollar modelos de IA basados en imágenes TCV para resolver diversos problemas. La mayoría de los estudios se centran en siete principales aplicaciones en diferentes especialidades, incluida la periodoncia, implantología oral, odontología forense, medicina y patología oral, ortodoncia, cirugía maxilofacial, diagnóstico, cariología y endodoncia.

Periodoncia. Las patologías periodontales son enfermedades inflamatorias crónicas multicausales. La periodontitis ocupa el sexto lugar de prevalencia a nivel mundial. Se encontraron seis artículos, los cuales muestran la aplicación de programas de IA para ayudar en el diagnóstico y tratamiento de la periodontitis utilizando radiografías panorámicas. Se utilizaron diferentes tipos de IA para evaluar dientes comprometidos periodontalmente, pérdida ósea periodontal y nivel de periodontitis siendo los principales: *Híbrido Framework: Deep learning architecture* y *CAD (computer aided diagnoses)*⁷, *R-CNN (faster regional convolutional neural network)*⁸, *CNN self-trained network*⁹ y *deep CNN architecture and a self-trained network*¹⁰, así también el *support vector machine (SVM)* empleando el examen clínico y radiográfico para diagnosticar la enfermedad periodontal¹¹ evidenciando una alta precisión diagnóstica que va de 0,76 a 0,88, disminuyendo el tiempo que se requiere en la ejecución del examen periodontal.

Implantología oral. En 1982, Branemark presentó el primer implante osteointegrado en Toronto-Canadá, actualmente esta práctica se ha extendido mundialmente. La terapia con implantes dentales presenta ventajas en el tratamiento dental en relación a otros

procedimientos mejorando la calidad de vida. Se encontraron ocho artículos que utilizando las radiografías (panorámica o periapicales) investigaron con diferentes tipos de IA entre ella tenemos: *deep CNN* para la identificación de los implantes dentales con una precisión de 93,8%¹², el *Yolov-3, TensorFlow and Keras deep-learning* con una precisión de 0,51-0,85 dependiendo del sistema de implante utilizado¹³. Además, se desarrollaron la *DCNN* y *CNN (google net, inception V3)* para la clasificación de los implantes dentales¹⁴ siendo altamente efectivo en clasificar implantes de formas similares de diferentes tipos de implantes en comparación con odontólogos. Así mismo, para detectar periimplantitis Cha *et al.*¹⁵ utilizaron *CNN*, no encontrando diferencia significativa entre el modelo *CNN* y el de periodoncistas. También se ha analizado la detección y clasificación de fracturas de los implantes utilizando *3 DCNN (convolutional neural network (DCNN) architectures (VGGNet-19, GoogLeNet, Inception.V3 and automated DCNN)*¹⁶ con una precisión de 0,80. A diferencia de los estudios anteriores, Ha *et al.*¹⁷ utilizaron *SVM con LOOCV (Support vector machine with LOOCV)* para establecer los factores que influyen en el pronóstico del implante estableciéndose que la posición mesiodistal del mismo es determinante. Teniendo como unidad de estudio al implante se diseñó el *IA fully digital workflow* para analizar la adaptación marginal y calidad de los contactos de coronas sobre implantes con una precisión de 91,3%¹⁸. Finalmente, Mahri *et al.*¹⁹ desarrollaron un algoritmo de aprendizaje automático para mapear automáticamente la literatura que evalúa el efecto de los medicamentos sobre la osteointegración, concluyendo que ésta puede afectarse por fármacos que afectan las actividades metabólicas implicadas en este proceso.

Odontología forense. La odontología forense permite la identificación de la persona viva o muerta a través de los registros dentales, esta tarea se realiza manualmente y necesita tiempo y *expertise* del profesional. Se encontraron ocho en inglés. Para reducir el tiempo de reconocimiento con el empleo de radiografías panorámicas Sathya *et al.*²⁰ utilizaron el modelo *Alex Net* desarrollado por Alex Krizhevsky que lograba identificar a una persona usando sólo una pieza dentaria mostrando una precisión de 95% en incisivos, 94,5% en caninos y 97,5% en premolares y molares.

Recientemente se desarrolló un modelo de IA denominada *DCNN* para determinar la edad mostrando una precisión de 73%²¹. Un estudio realizado por De Tobel *et al.*²² reportó sobre la aplicación de un modelo de IA basado en la estadificación del desarrollo del tercer molar inferior en radiografías panorámicas. El modelo fue eficiente en comparación con los examinadores capacitados. Estos resultados fueron similares al estudio realizado por Stern *et al.*²³ donde los autores informaron sobre el uso de una estimación de edad multifactorial automática para la evaluación de la edad basada en los huesos de la mano. El rendimiento de este modelo fue similar al de los radiólogos. Así mismo, Vila-Blanco *et al.*²⁴ reportaron sobre el uso de dos métodos de IA

para estimar la edad cronológica de un sujeto utilizando radiografías panorámicas. El primero (*DANet*) consiste en una CNN para predecir la edad, mientras que la segunda (*DASNet*) agrega una segunda ruta de CNN para predecir el sexo y utiliza características específicas del sexo con el objetivo de mejorar el rendimiento de la predicción de la edad. Los resultados demostraron que el *DASNet* logró superar al *DANet* en todos los aspectos llegando a predecir la edad cronológica de un sujeto joven con dentición en desarrollo. Estos resultados fueron similares a los del estudio realizado por De Back et al.²⁵ donde los autores informaron sobre el uso de CNN bayesianas para realizar estimaciones de edad utilizando 12 000 radiografías panorámicas del maxilar superior e inferior. Los resultados fueron bastante alentadores, aunque la precisión no justifica su utilización rutinaria.

Para la predicción de género de manera automatizada permitiendo la identificación con mínimos errores se desarrolló un ANN (Artificial Neural Networks) utilizando radiografías panorámicas.²⁶ Así mismo, en un estudio realizado por Fidy et al.²⁷ reportaron sobre una IA relativamente nueva basada en la identificación del dimorfismo sexual en caninos. En este estudio, los autores cuantificaron la precisión respectiva del *Naive Bayes*, *decision tree*, and *multi-layer perceptron (MLP)* para identificar dimorfismo en caninos logrando un proceso de identificación altamente preciso.

En el área de odontología forense estos modelos pueden ser herramientas prometedoras para la identificación de víctimas en desastres naturales y como ayuda adicional en situaciones legales. Sin embargo, muchos de estos estudios se han realizado en modelos experimentales y constituyen una limitación importante. Dentro de los parámetros en los que aún no hay evidencia en IA recomendados por una reciente revisión sistemática tenemos las huellas labiales, rugas palatinas y la translucidez dentinaria.²⁸ Podría también recomendarse el uso de IA en la identificación racial por parte del análisis realizado en odontología forense.

Medicina y patología oral. Dentro del área de patología oral se han reportado diferentes tipos de IA con diferentes usos desde el diagnóstico de lesiones quísticas odontológicas por medio del análisis panorámico y tomográfico utilizando *Deep CNN architecture* y *YOLOv2* según refieren Lee et al.²⁹ y Yang et al.³⁰ respectivamente. Predicciones en la positividad de márgenes tumorales como indicativo de la calidad de la atención a través del análisis de registros.³¹ Predicciones de supervivencia del cáncer oral con algoritmos de aprendizaje profundo *DeepSurv*³²; utilizando algoritmos como *Linear regression*, *DT*, *RF* y *XGBoost*³³; así como también basándose en el análisis de imágenes fotográficas con el uso de redes convolucionales.³⁴

Ortodoncia. A nivel de la ortodoncia se aprecia la utilización de la IA en el impacto del tratamiento de ortodoncia evaluando el atractivo facial y apariencia de edad con el uso de fotografías y redes convolucionales³⁵; en la predicción de ubicación y angulaciones de terceras molares en radiografías panorámicas con red

neuronal convolucional con *Resnet-101*³⁶; variaciones de la estructura maxilar por la impactación de caninos en tomografías con algoritmo de aprendizaje *LINKS*³⁷. Evaluación y desarrollo a través de análisis panorámico y cefalométrico de vértebras cervicales comparando sistemas como *Naive Bayes (NB)*, *random forest (RF)*, *artificial neural networks (ANN)*, *support vector machine (SVM)*, *decision tree (DT)* y *logistic regression (LR)*³⁸. Mejoras en la segmentación multiclase de tomografías con aplicación de *mixed-scale dense (MS-D)*³⁹. Análisis fotográfico y radiográfico para predicciones de piezas a extraer con *machine learning models*⁴⁰. Evaluación de las diferencias cráneo espinales entre las clases esqueléticas con CNN (*DenseNet121*)⁴¹. Mejoras en el diagnóstico esquelético para ortodondia a través del CNN *with a modified Desenet*⁴²; en el análisis cefalométrico automatizado⁴³, identificación y análisis de puntos de referencia faciales y cefalométricos con utilización de algoritmos como *YOLO*⁴⁴ y *Bayesian Convolutional Neural Networks (BCNN)*⁴⁵ y últimamente en la monitorización del tratamiento ortodónico⁴⁶.

Cirugía oral. Dentro del área de cirugía Bucocomaxiolar se ha reportado la utilización de la IA en sus diferentes tipos, entre los que resalta la CNN utilizada tanto en radiografías panorámicas como en TCV para la correcta toma de decisiones de la extracción de un diente, mostrando así la CNN un alto rendimiento en la toma de decisiones⁴⁷. Así mismo, se ha reportado el uso de la red neuronal profunda (*DNN*) en la localización del conducto dentario inferior, sabiendo que la lesión de este nervio es una de las complicaciones más frecuentes en la extracción de terceras molares inferiores, ya que podría generar parestesia⁴⁸. También se ha aplicado el aprendizaje automático junto con modelos No-Bayesianos en la determinación de la morfometría pterigomaxilar con resultados novedosos sobre la inclinación del proceso pterigoideo en relación a la tuberosidad del maxilar⁴⁹.

Diagnóstico, carielogía y endodoncia. Es fundamental para nuestra profesión realizar un diagnóstico temprano de la caries dental evitando aplicar tratamientos invasivos en nuestros pacientes. De los 16 artículos encontrados, cinco de ellos utilizaron la IA en el diagnóstico temprano de la caries dental. Hung et al.⁵⁰ utilizaron el *Supervised machine learning (SL)* en la intervención temprana de la caries radicular. Así mismo, se ha aplicado en el diagnóstico de caries interproximal, utilizando CNN con la arquitectura *U-Net* en radiografías de aleta de mordida, teniendo como resultado una mayor rentabilidad en la detección temprana⁵¹. El éxito en endodoncia radica en el correcto diagnóstico, identificando la presencia o no de lesiones periapicales ya que todo esto contribuirá en la reducción del nivel de dificultad del tratamiento, como lo menciona Shivani Mallishery et al.⁵², con la aplicación de *DNN* para agilizar el tiempo que demora en diagnosticar el nivel de dificultad de un tratamiento endodónico y su correcta derivación con el especialista. En la identificación de lesiones periapicales, se aplicó CNN con la arquitectura *U-Net* tanto en TCV como en radiografías panorámicas. Cuando se utilizó TCV, se encontró una alta precisión en la detección de

lesiones apicales⁵³ así como utilizando radiografías panorámicas, se evidenció una alta capacidad en la identificación de lesiones periapicales⁵⁴. Otro punto que determina la complejidad del tratamiento endodóntico es la morfología de los canales, sobre todo en molares mandibulares. Es por esto que Hiraiwa *et al.*⁵ aplicaron *CNN* en TCV y radiografías panorámicas obteniendo como resultado una alta precisión en el diagnóstico diferencial de las raíces distales de los primeros molares mandibulares. Igualmente se reportó que Jeon *et al.*⁵⁵, aplicaron *CNN* con arquitectura *Xception* en TCV y radiografías panorámicas para predecir la presencia de conductos en forma de C en segundos molares mandibulares encontrando que la IA brinda una alta precisión en la predicción de estos conductos.

Conclusiones

La IA se viene utilizando ampliamente en Odontología demostrando resultados prometedores ya que la toma de decisiones es un aspecto crucial en las diferentes especialidades. Diferentes estudios han demostrado que estos modelos muestran una precisión equivalente a la de diferentes especialistas capacitados. Estos modelos tienen la ventaja de poder superar los errores humanos demostrando excelentes resultados.

Referencias bibliográficas

- McCarthy J, Minsky M, Rochester N, Shannon C. A proposal for the dartmouth summer research project on artificial intelligence. *AI magazine* [Internet]. 1955 [citado el 03 de junio del 2021]; 27(4),12-12. Disponible en: <https://ojs.aaai.org/index.php/aimagazine/article/view/1904>.
- Crevier D. *AI: the tumultuous history of the search for artificial intelligence*. Basic Books, Inc.; 1993.
- Akst J. A primer: artificial intelligence versus neural networks. *The Scientist Exploring life, Inspiring Innovation* [Internet]. 2019 [citado el 29 de mayo de 2021]; May:1-1. Disponible en: <https://www.the-scientist.com/magazine-issue/artificial-intelligence-versus-neural-networks-65802>.
- Park WJ, Park J-B. History and application of artificial neural networks in dentistry. *Eur J Dent*. 2018;12(4):594. DOI: 10.4103/ejd.ejd_325_18.
- Hiraiwa T, Arijji Y, Fukuda M, Kise Y, Nakata K, Katsumata A, et al. A deep-learning artificial intelligence system for assessment of root morphology of the mandibular first molar in panoramic radiography. *Dentomaxillofac Radiol*. 2019;48(3):20180218. DOI: 10.1259/dmfr.20180218.
- Flores A, Rysavy S, Enciso R, Okada K. Non-invasive differential diagnosis of dental periapical lesions in cone-beam CT. 2009 IEEE International Symposium on Biomedical Imaging: From Nano to Macro, 2009:566-9. DOI: 10.1109/ISBI.2009.5193110.
- Chang HJ, Lee SJ, Yong TH, Shin NY, Jang BG, Kim JE, et al. Deep Learning Hybrid Method to Automatically Diagnose Periodontal Bone Loss and Stage Periodontitis. *Sci Rep*. 2020;10(1):7531. DOI: 10.1038/s41598-020-64509-z.
- Thanathornwong B, Suebnukarn S. Automatic detection of periodontal compromised teeth in digital panoramic radiographs using faster regional convolutional neural networks. *Imaging Sci Dent*. 2020;50(2):169-74. DOI: 10.5624/isd.2020.50.2.169.
- Krois J, Ekert T, Meinhold L, Golla T, Kharbot B, Witte-meier A, et al. Deep Learning for the Radiographic Detection of Periodontal Bone Loss. *Sci Rep*. 2019;9(1):8495. DOI: 10.1038/s41598-019-44839-3.
- Lee JH, Kim DH, Jeong SN, Choi SH. Diagnosis and prediction of periodontally compromised teeth using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *J Periodontal Implant Sci*. 2018;48(2):114-23. DOI: 10.5051/jpis.2018.48.2.114.
- Farhadian M, Shokouhi P, Torkzaban P. A decision support system based on support vector machine for diagnosis of periodontal disease. *BMC Res Notes*. 2020;13(1):337. DOI: 10.1186/s13104-020-05180-5.
- Hadj Saïd M, Le Roux MK, Catherine JH, Lan R. Development of an Artificial Intelligence Model to Identify a Dental Implant from a Radiograph. *Int J Oral Maxillofac Implants*. 2020;36(6):1077-82. DOI: 10.11607/jomi.8060.
- Takahashi T, Nozaki K, Gonda T, Mameno T, Wada M, Ikebe K. Identification of dental implants using deep learning-pilot study. *Int J Implant Dent*. 2020;6(1):53. DOI: 10.1186/s40729-020-00250-6.
- Lee JH, Kim YT, Lee JB, Jeong SN. A Performance Comparison between Automated Deep Learning and Dental Professionals in Classification of Dental Implant Systems from Dental Imaging: A Multi-Center Study. *Diagnostics (Basel)*. 2020;10(11):910. DOI: 10.3390/diagnostics10110910.
- Cha JY, Yoon HI, Yeo IS, Huh KH, Han JS. Peri-Implant Bone Loss Measurement Using a Region-Based Convolutional Neural Network on Dental Periapical Radiographs. *J Clin Med*. 2021;10(5):1009. DOI: 10.3390/jcm10051009.
- Lee DW, Kim SY, Jeong SN, Lee JH. Artificial Intelligence in Fractured Dental Implant Detection and Classification: Evaluation Using Dataset from Two Dental Hospitals. *Diagnostics (Basel)*. 2021;11(2):233. DOI: 10.3390/diagnostics11020233.
- Ha SR, Park HS, Kim EH, Yang JY, Heo J, et al. A pilot study using machine learning methods about factors influencing prognosis of dental implants. *J Adv Prosthodont*. 2018;10(6):395-400. DOI: 10.4047/jap.2018.10.6.395.
- Lerner H, Mouhyi J, Admakin O, Mangano F. Artificial intelligence in fixed implant prosthodontics: a retrospective study of 106 implant-supported monolithic zirconia crowns inserted in the posterior jaws of 90 patients. *BMC Oral Health*. 2020;20(1):80. DOI: 10.1186/s12903-020-1062-4.
- Mahri M, Shen N, Berrizbeitia F, Rodan R, Daer A, Faigan M, et al. Osseointegration Pharmacology: A Systematic Mapping Using Artificial Intelligence. *Acta Biomater*. 2021;119:284-302. DOI: 10.1016/j.actbio.2020.11.011.
- Sathya B, Neelaveni R. Transfer Learning Based Automatic Human Identification using Dental Traits- An

- Aid to Forensic Odontology. *J Forensic Leg Med.* 2020;76:102066. DOI: 10.1016/j.jflm.2020.102066.
21. Banjšak L, Milošević D, Subašić M. Implementation of artificial intelligence in chronological age estimation from orthopantomographic X-ray images of archaeological skull remains. *Bulletin of the International association for paleodontology* [Internet]. 2020 [citado el 03 de junio del 2021]; 14(2):122-129. Disponible en: <https://hrcak.srce.hr/248479>.
 22. De Tobel J, Radesh P, Vandermeulen D, Thevissen PW. An automated technique to stage lower third molar development on panoramic radiographs for age estimation: a pilot study. *J Forensic Odontostomatol.* 2017;35(2):42-54.
 23. Štern D, Kainz P, Payer C, Urschler M. Multi-factorial age estimation from skeletal and dental MRI volumes. Conference: International Workshop on Machine Learning in Medical Imaging. 2017. DOI: 10.1007/978-3-319-67389-9_8
 24. Vila-Blanco N, Carreira MJ, Varas-Quintana P, Balsa-Castro C, Tomás I. Deep Neural Networks for Chronological Age Estimation From OPG Images. *IEEE Transactions on Medical Imaging.* 2020;39(7):2374-84. DOI: 10.1109/TMI.2020.2968765.
 25. De Back W, Seurig S, Wagner S, Marré B, Roeder I, Scherf N. Forensic age estimation with Bayesian convolutional neural networks based on panoramic dental X-ray imaging. Alemania 17 de abril del 2019. Alemania: International Conference on Medical Imaging with Deep Learning-Extended Abstract Track; 2019.
 26. Patil V, Vineetha R, Vatsa S, Shetty D, Raju A, Naik N, et al. Artificial neural network for gender determination using mandibular morphometric parameters: A comparative retrospective study. *Cogent Eng.* 2020;7(1):1723783. DOI: 10.1080/23311916.2020.1723783.
 27. Fidya F, Priyambadha B. Automation of gender determination in human canines using artificial intelligence. sexual dimorphism; canines; artificial intelligence. *Dent J (Majalah Kedokteran Gigi).* 2017;50(3):116-20. DOI: 10.20473/j.djmk.v50.i3.p116-120.
 28. Khanagar SB, Vishwanathaiah S, Naik S, Al-Kheraif AA, Divakar DD, Sarode SC, et al. Application and performance of artificial intelligence technology in forensic odontology - A systematic review. *Leg Med (Tokyo).* 2021;48:101826. DOI: 10.1016/j.legalmed.2020.101826.
 29. Lee JH, Kim DH, Jeong SN. Diagnosis of cystic lesions using panoramic and cone beam computed tomographic images based on deep learning neural network. *Oral Dis.* 2020;26(1):152-8. DOI:10.1111/odi.13223.
 30. Yang H, Jo E, Kim HJ, et al. Deep Learning for Automated Detection of Cyst and Tumors of the Jaw in Panoramic Radiographs. *J Clin Med.* 2020;9(6):1839. DOI: 10.3390/jcm9061839.
 31. Tighe D, Fabris F, Freitas A. Machine learning methods applied to audit of surgical margins after curative surgery for head and neck cancer. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2021;59(2):209-16. DOI: 10.1016/j.bjoms.2020.08.041.
 32. Kim DW, Lee S, Kwon S, Nam W, Cha IH, Kim HJ. Deep learning-based survival prediction of oral cancer patients. *Sci Rep.* 2019;9(1):6994. DOI: 10.1038/s41598-019-43372-7.
 33. Hung M, Park J, Hon ES, Bounsanga J, Moazzami S, Ruiz-Negrón B, et al. Artificial intelligence in dentistry: Harnessing big data to predict oral cancer survival. *World J Clin Oncol.* 2020;11(11):918-34. DOI: 10.5306/wjco.v11.i11.918.
 34. Fu Q, Chen Y, Li Z, Jing Q, Hu C, Liu H, et al. A deep learning algorithm for detection of oral cavity squamous cell carcinoma from photographic images: A retrospective study. *EClinicalMedicine.* 2020;27:100558. DOI: 10.1016/j.eclinm.2020.100558.
 35. Patcas R, Bernini DAJ, Volokitin A, Agustsson E, Rothe R, Timofte R. Applying artificial intelligence to assess the impact of orthognathic treatment on facial attractiveness and estimated age. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2019;48(1):77-83. DOI: 10.1016/j.ijom.2018.07.010.
 36. Vranckx M, Van Gerven A, Willems H, Vandemeulebroucke A, Ferreira Leite A, Politis C, et al. Artificial Intelligence (AI)-Driven Molar Angulation Measurements to Predict Third Molar Eruption on Panoramic Radiographs. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(10):3716. DOI: 10.3390/ijerph17103716.
 37. Chen S, Wang L, Li G, Wu TH, Diachina S, Tejera B, et al. Machine learning in orthodontics: Introducing a 3D auto-segmentation and auto-landmark finder of CBCT images to assess maxillary constriction in unilateral impacted canine patients. *Angle Orthod.* 2020;90(1):77-84. DOI: 10.2319/012919-59.1.
 38. Kök H, Izgi MS, Acilar AM. Determination of growth and development periods in orthodontics with artificial neural network. *Orthod Craniofac Res.* 2020. DOI: 10.1111/ocr.12443.
 39. Wang H, Minnema J, Batenburg KJ, Forouzanfar T, Hu FJ, Wu G. Multiclass CBCT Image Segmentation for Orthodontics with Deep Learning. *J Dent Res.* 2021;220345211005338. DOI: 10.1177/00220345211005338.
 40. Suhail Y, Upadhyay M, Chhibber A, Kshitiz. Machine Learning for the Diagnosis of Orthodontic Extractions: A Computational Analysis Using Ensemble Learning. *Bioengineering (Basel).* 2020;7(2):55. DOI: 10.3390/bioengineering7020055.
 41. Jeong SH, Yun JP, Yeom HG, Kim HK, Kim BC. Deep-Learning-Based Detection of Cranio-Spinal Differences between Skeletal Classification Using Cephalometric Radiography. *Diagnostics (Basel).* 2021;11(4):591. DOI: 10.3390/diagnostics11040591.
 42. Yu HJ, Cho SR, Kim MJ, Kim WH, Kim JW, Choi J. Automated Skeletal Classification with Lateral Cephalometry Based on Artificial Intelligence. *J Dent Res.* 2020;99(3):249-56. DOI: 10.1177/0022034520901715.
 43. Kunz F, Stellzig-Eisenhauer A, Zeman F, Boldt J. Artificial intelligence in orthodontics : Evaluation of a fully automated cephalometric analysis using a customized convolutional neural network. *J Orofac Orthop.* 2020;81(1):52-68. DOI: 10.1007/s00056-019-00203-8.
 44. Rao GKL, Srinivasa AC, Iskandar YHP, Mokhtar N. Identification and analysis of photometric points on 2D

- facial images: a machine learning approach in orthodontics. *Health and Technology*. 2019;9(5):715-24. DOI: 10.1007/s12553-019-00313-8.
45. Lee JH, Yu HJ, Kim MJ, Kim JW, Choi J. Automated cephalometric landmark detection with confidence regions using Bayesian convolutional neural networks. *BMC Oral Health*. 2020;20(1):270. DOI: 10.1186/s12903-020-01256-7.
 46. Caruso S, Pellegrino M, Skafi R, Nota A, Tecco S. A Knowledge-Based Algorithm for Automatic Monitoring of Orthodontic Treatment: The Dental Monitoring System. Two Cases. *Sensors (Basel)*. 2021;21(5):1856. DOI: 10.3390/s21051856.
 47. Cui Q, Chen Q, Liu P, Liu D, Wen Z. Clinical decision support model for tooth extraction therapy derived from electronic dental records. *J Prosthet Dent*. 2020;S0022-3913(20)30264-X. DOI: 10.1016/j.prosdent.2020.04.010.
 48. Kwak GH, Kwak EJ, Song JM, Park HR, Jung YH, Cho BH, et al. Automatic mandibular canal detection using a deep convolutional neural network. *Sci Rep*. 2020;10(1):5711. DOI: 10.1038/s41598-020-62586-8.
 49. Al-Imam A, Abdul-Wahaab IT, Konuri VK, Sahai A. Reconciling artificial intelligence and non-Bayesian models for pterygomaxillary morphometrics. *Folia Morphol (Warsz)*. 2021. DOI: 10.5603/FM.a2020.0149.
 50. Hung M, Voss MW, Rosales MN, Li W, Su W, Xu J, et al. Application of machine learning for diagnostic prediction of root caries. *Gerodontology*. 2019;36(4):395-404. DOI: 10.1111/ger.12432.
 51. Schwendicke F, Rossi JG, Göstemeyer G, Elhennawy K, Cantu AG, Gaudin R, et al. Cost-effectiveness of Artificial Intelligence for Proximal Caries Detection. *J Dent Res*. 2021;100(4):369-76. DOI: 10.1177/0022034520972335.
 52. Mallishery S, Chhatpar P, Banga KS, Shah T, Gupta P. The precision of case difficulty and referral decisions: an innovative automated approach. *Clin Oral Investig*. 2020;24(6):1909-15. DOI: 10.1007/s00784-019-03050-4.
 53. Setzer FC, Shi KJ, Zhang Z, Yan H, Yoon H, Mupparapu M, et al. Artificial Intelligence for the Computer-aided Detection of Periapical Lesions in Cone-beam Computed Tomographic Images. *J Endod*. 2020;46(7):987-93. DOI: 10.1016/j.joen.2020.03.025.
 54. Ekert T, Krois J, Meinhold L, Elhennawy K, Emara R, Golla T, et al. Deep Learning for the Radiographic Detection of Apical Lesions. *J Endod*. 2019;45(7):917-22. e5. DOI: 10.1016/j.joen.2019.03.016.
 55. Jeon SJ, Yun JP, Yeom HG, Shin WS, Lee JH, Jeong SH, et al. Deep-learning for predicting C-shaped canals in mandibular second molars on panoramic radiographs. *Dentomaxillofac Radiol*. 2021;20200513. DOI: 10.1259/dmfr.20200513.
 56. Lee JH, Jeong SN. Efficacy of deep convolutional neural network algorithm for the identification and classification of dental implant systems, using panoramic and periapical radiographs: A pilot study. *Medicine (Baltimore)*. 2020;99(26):e20787. DOI: 10.1097/MD.00000000000020787.
 57. Sakai Y, Kitamoto E, Okamura K, Tatsumi M, Shirasaka T, Mikayama R, et al. Metal artefact reduction in the oral cavity using deep learning reconstruction algorithm in ultra-high-resolution computed tomography: a phantom study. *Dentomaxillofac Radiol*. 2021;20200553. DOI: 10.1259/dmfr.20200553.
 58. Kök H, Acilar AM, İzgi MS. Usage and comparison of artificial intelligence algorithms for determination of growth and development by cervical vertebrae stages in orthodontics. *Prog Orthod*. 2019;20(1):41. DOI: 10.1186/s40510-019-0295-8.
 59. Ma Q, Kobayashi E, Fan B, Nakagawa K, Sakuma I, Masamune K, et al. Automatic 3D landmarking model using patch-based deep neural networks for CT image of oral and maxillofacial surgery. *Int J Med Robot*. 2020;16(3):e2093. DOI: 10.1002/rcs.2093.
 60. Lee JH, Kim DH, Jeong SN, Choi SH. Detection and diagnosis of dental caries using a deep learning-based convolutional neural network algorithm. *J Dent*. 2018;77:106-11. DOI: 10.1016/j.jdent.2018.07.015.
 61. Yamaguchi S, Lee C, Karaer O, Ban S, Mine A, Imazato S. Predicting the Debonding of CAD/CAM Composite Resin Crowns with AI. *J Dent Res*. 2019;98(11):1234-8. DOI: 10.1177/0022034519867641.
 62. Tuzoff DV, Tuzova LN, Bornstein MM, Krasnov AS, Kharchenko MA, Nikolenko SI, et al. Tooth detection and numbering in panoramic radiographs using convolutional neural networks. *Dentomaxillofac Radiol*. 2019;48(4):20180051. DOI: 10.1259/dmfr.20180051.
 63. Javed S, Zakirulla M, Baig RU, Asif SM, Meer AB. Development of artificial neural network model for prediction of post-streptococcus mutans in dental caries. *Comput Methods Programs Biomed*. 2020;186:105198. DOI: 10.1016/j.cmpb.2019.105198.
 64. Casalegno F, Newton T, Daher R, Abdelaziz M, Lodi-Rizzini A, Schürmann F, et al. Caries Detection with Near-Infrared Transillumination Using Deep Learning. *J Dent Res*. 2019;98(11):1227-33. DOI: 10.1177/0022034519871884.
 65. Yasa Y, Çelik Ö, Bayrakdar IS, Pekince A, Orhan K, Akarsu S, et al. An artificial intelligence proposal to automatic teeth detection and numbering in dental bite-wing radiographs. *Acta Odontol Scand*. 2021;79(4):275-81. DOI: 10.1080/00016357.2020.1840624.
 66. Zhang X, Liang Y, Li W, Liu C, Gu D, Sun W, et al. Development and evaluation of deep learning for screening dental caries from oral photographs. *Oral Dis*. 2020. DOI: 10.1111/odi.13735.
 67. Abdalla-Aslan R, Yeshua T, Kabla D, Leichter I, Nadler C. An artificial intelligence system using machine-learning for automatic detection and classification of dental restorations in panoramic radiography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol*. 2020;130(5):593-602. DOI: 10.1016/j.oooo.2020.05.012.
 68. Leite AF, Gerven AV, Willems H, Beznik T, Lahoud P, Gaêta-Araujo H, et al. Artificial intelligence-driven novel tool for tooth detection and segmentation on panoramic radiographs. *Clin Oral Investig*. 2021;25(4):2257-67. DOI: 10.1007/s00784-020-03544-6.