

Métodos radiográficos para la valoración del desarrollo en el paciente ortodóntico: aplicabilidad y limitaciones

Radiographic methods for development assessment in the orthodontic patient: applicability and limitations

Métodos radiográficos para avaliação do desenvolvimento no paciente ortodôntico: aplicabilidade e limitações

Fecha de Recepción: 13 de marzo 2023

Aceptado para su publicación: 28 de marzo 2023

Autores:

Humberto Jiménez-Pinto^{1,a}
ORCID 0009-0004-1451-9599
Ana Isabel Ortega-Pertuz^{2,b}
ORCID 0000-0002-2490-4560
Maira Quevedo-Piña^{1,c}
ORCID 0000-0003-3996-0335
Iraida Labrador de Scholtz^{1,a}
ORCID 0009-0007-7567-6274

Labrador de Scholtz^{1,a}.

1. Facultad de Odontología, Universidad de Carabobo, estado Carabobo, Venezuela.
2. Instituto de Investigaciones. Facultad de Odontología, Universidad del Zulia, estado Zulia, Venezuela.
 - a. Especialista en Ortodoncia (Universidad de Carabobo, Venezuela).
 - b. Doctora en Odontología (Universidad del Zulia, Venezuela).
 - c. Doctora en Ciencias Odontológicas (Universidad de Carabobo, Venezuela).

Correspondencia:

Maira Quevedo-Piña. Facultad de Odontología, Universidad de Carabobo, estado Carabobo, Venezuela.
+058 412 8888079

Correo electrónico:

mairaqueverdo@gmail.com

Conflicto de intereses:

los autores declaran no tener conflictos de interés.

Fuente de financiamiento:

autofinanciado.

Resumen

La edad cronológica provee un marco referencial para la valorar el desarrollo del niño, sin embargo, es la edad biológica quien expresa el grado de madurez alcanzado por el individuo mediante parámetros como la edad dental y ósea. Por tal motivo, conocer la edad biológica es fundamental en el tratamiento ortodóntico ya que aporta información para tomar decisiones acerca del tiempo, opciones y limitaciones de la terapéutica en el paciente. De igual manera, el desarrollo dental u óseo han sido utilizados para predecir el momento del crecimiento puberal, estimar la velocidad del mismo y la proporción de crecimiento remanente a fin de lograr tratamientos exitosos. La presente revisión narrativa tiene como objetivo conocer los alcances y limitaciones de los diferentes métodos radiográficos empleados en la valoración del crecimiento y desarrollo del paciente ortodóntico, aportando conceptos fundamentales, limitaciones propias de cada método desarrollado y sus aportes en el contexto actual.

Palabras clave: desarrollo infantil; determinación de la edad por los dientes; determinación de la edad por el esqueleto; ortodoncia (fuente: DeCs BIREME).

Abstract

Chronological age provides a reference framework for assessing a child's development. However, it is the biological age that expresses the level of maturity reached by the individual, based on parameters such as dental and skeletal age. Therefore, knowing the biological age is essential in orthodontic treatment as it provides information for making decisions regarding the timing, options, and limitations of therapy for the patient. Similarly, dental and skeletal development have been used to predict the timing of pubertal growth, estimate its rate, and determine the proportion of remaining growth

in order to achieve successful treatments. This narrative review aims to explore the scope and limitations of different radiographic methods used in the assessment of growth and development in orthodontic patients. It provides fundamental concepts, inherent limitations of each developed method, and their contributions in the current context.

Key words: *child development; dental age determination; skeletal age determination; orthodontics (source: DeCs BIREME).*

Resumo

A idade cronológica fornece um referencial para avaliação do desenvolvimento infantil, porém é a idade biológica que expressa o grau de maturidade alcançado pelo indivíduo por meio de parâmetros como idade dentária e idade óssea. Por esta razão, conhecer a idade biológica é essencial no tratamento ortodôntico, pois fornece informação para tomar decisões sobre o tempo, opções e limitações da terapia do paciente. Da mesma forma, o desenvolvimento dentário ou ósseo tem sido utilizado para prever o momento do crescimento puberal, estimar sua velocidade e a proporção de crescimento remanescente para alcançar tratamentos bem-sucedidos. O objetivo desta revisão narrativa é conhecer o alcance e as limitações dos diferentes métodos radiográficos utilizados na avaliação do crescimento e desenvolvimento do paciente ortodôntico, fornecendo conceitos fundamentais, limitações de cada método desenvolvido e suas contribuições no contexto atual.

Palavras-chave: *desenvolvimento infantil; determinação da idade pelos dentes; determinação da idade pelo esqueleto; ortodontia (fonte: DeCs BIREME).*

Introducción

La edad cronológica (EC) proporciona un marco referencial para valorar el desarrollo del niño, sin embargo, es la edad biológica (EB) quien expresa fehacientemente el grado de madurez alcanzado por el individuo, mediante parámetros como la edad dental (ED) y ósea (EO)^{1,2}. La EB es de particular interés en el contexto del tratamiento ortodôntico pues a menudo determina el tiempo, opciones y límites de la terapéutica^{3,4}. La EC, ED y EO no necesariamente son coincidentes y se ha observado una amplia variabilidad intraindividual e interindividual entre sujetos del mismo grupo etario y dimorfismo sexual^{3,5-7}.

La determinación de la desviación del curso normal del desarrollo es terapéuticamente relevante y permite descartar trastornos endocrinos, metabólicos o sindrómicos⁷⁻¹⁰. La corrección de disgnatias es influenciada por el potencial de crecimiento, lo que orienta la duración y tipo de tratamiento ortodôntico a implementar. La ED y la EO impactan el pronóstico de la terapia y la planificación de medidas de retención que promuevan la estabilidad de los resultados^{3,4,10}.

Diversos métodos radiográficos han sido propuesto para valorar la ED y la EO, ya sea desde un enfoque morfológico, en el que se observan secuencias de eventos predecibles en huesos¹¹⁻¹⁴ o dientes^{16,17} seleccionados, o métricos donde se miden las estructuras^{18,19}; esto permite establecer una “edad” la cual es comparada con la EC a fin de determinar cuan avanzado o atrasado está el individuo con respecto a ésta^{11,14,16,18,19}. Alternativamente, el desarrollo dental u óseo ha sido empleado para predecir el momento del crecimiento puberal, estimar la velocidad del mismo y la proporción de crecimiento remanente^{20,21}. Por otro lado, el estado de maduración de la sutura palatina es considerado en la planificación del tratamiento de la constricción transversal del maxilar, debido a ello, el estudio radiológico de la misma, constituye una de las herramientas diagnósticas disponibles en la práctica de la Ortodontia^{22,23}. Considerando lo anteriormente expuesto, la presente revisión tiene como objetivo conocer los alcances y limitaciones de los diferentes métodos radiográficos empleados en la valoración del crecimiento y desarrollo del paciente ortodôntico.

Metodología

Para esta investigación retrospectiva, documental y de corte transversal, se realizó una exploración electrónica para la búsqueda de información científica en Google Académico, PubMed, Scielo y Redalyc, empleando para ello las palabras clave: dental age/bone age/skeletal age/pubertal growth spurt/midpalatal suture/cervical vertebral maturation. La selección de los artículos se efectuó considerando los siguientes criterios de inclusión: documentos en extenso publicados en idioma inglés, español o portugués, que correspondieran a investigaciones realizadas en humanos, de tipo observacional, revisiones narrativas/sistemáticas/metanálisis, consensos e

informes. Los criterios de exclusión fueron: reportes de casos clínicos y opiniones de expertos. Los datos de las publicaciones relevantes fueron extraídos y se organizaron en tablas. Una vez leídos los documentos se descartaron las publicaciones dobles y se procedió a filtrar los artículos de acuerdo a su pertinencia directa con el tema a abordar, luego la información se resumió de acuerdo al objeto de análisis del manuscrito. Se abarcó el período comprendido desde el año 2010 hasta el 2022, asimismo, se incluyeron los documentos históricos donde se describen los métodos de evaluación del desarrollo dental y óseo.

Evaluación de la edad dental

La ED ha mostrado una alta correlación con la EC, pero no así con la EO, los caracteres sexuales secundarios o el crecimiento, es por ello que tiene una utilidad limitada en la predicción del crecimiento craneofacial, pero es un complemento valioso a la estimación del grado de desarrollo determinado por otros métodos^{3,24}. Entre los métodos radiográficos más empleados para determinar la ED, se encuentran el de Nolla¹⁶ y Demirjian *et al.*¹⁷.

En el método de Nolla¹⁶ el desarrollo dentario es dividido en una escala ordinal de 1–10 estadios, des-

de «0» el cual denota la ausencia de la cripta, hasta el cierre apical de los dientes mono y multirradiculares; para su aplicación puede seleccionarse un cuadrante de la maxila o mandíbula, o la arcada completa, incluyendo o no el tercer molar. A cada diente es asignado un estadio, el cual representa una puntuación, dichas puntuaciones se suman y se obtiene un puntaje, el cual es transformado en ED mediante tablas de referencia para cada sexo. Se ha reportado que el método subestima significativamente la EC en individuos de ambos sexos entre los 3-18 años de edad (sexo masculino: 0,35 años; sexo femenino: 0,20 años)²⁵.

El método de Demirjian *et al.*¹⁷ es un sistema biológicamente basado para medir la madurez, donde los estadios de maduración fueron matemáticamente ponderados y sumados para obtener una puntuación que es convertida en ED. Las puntuaciones representan un porcentaje de maduración en términos de EC e indican la posición relativa del niño con respecto al inicio o fin del proceso de desarrollo, también permite comparar el sujeto con otros del mismo sexo. En el método se describen ocho estadios denominados de la A-H para los siete dientes permanentes del lado izquierdo de la mandíbula (*Tabla 1, Figura 1*), a cada diente se le asigna entonces

Tabla 1. Estadios de mineralización de los dientes permanentes de acuerdo a Demirjian *et al.*¹⁷ (1973).

ESTADIO	DESCRIPCIÓN
A	Tanto en dientes mono y multirradiculares, se observa el inicio de la mineralización en el nivel de la cripta, en la forma de conos invertidos o conos. No hay fusión de estos puntos mineralizados.
B	Fusión de los puntos mineralizados en una o más cúspides, que unidas proporcionen el contorno de la superficie oclusal.
C	a. La formación del esmalte está completa en la superficie oclusal. Se observa su extensión y convergencia hacia la región cervical. b. Se observa el inicio del depósito de la dentina. c. El contorno de la cámara pulpar tiene una forma curva en el borde oclusal.
D	a. La formación de la corona está completa a nivel de la unión amelocementaria b. El borde superior de la cámara pulpar en los dientes unirradiculares tiene una forma curva definitiva, siendo cóncavo hacia la región cervical. La proyección de los cuernos pulpares, si está presente muestra una forma de paraguas. En los molares la cámara pulpar tiene una forma trapezoidal. c. Inicio de la formación radicular en forma de una espícula.
E	Dientes unirradiculares: a. Las paredes de la cámara pulpar forman líneas rectas, cuya continuidad es interrumpida con la presencia del cuerno pulpar, el cual es mayor que en el estadio anterior. b. La longitud radicular es menor que la longitud de la corona. Molares: a. Formación inicial de la bifurcación radicular en forma de un punto calcificado o una forma semi-lunar. b. La longitud radicular es menor que la longitud de la corona.
F	Dientes unirradiculares: a. Las paredes de la cámara pulpar forman un triángulo isosceles. El ápice tiene forma de embudo. b. La longitud radicular es igual o mayor que la longitud de la corona. a. La región calcificada de la bifurcación se ha desarrollado inferiormente desde su estadio semilunar, para darle a las raíces un contorno más definitivo y distintivo, con su porción terminar en forma de embudo. b. La longitud radicular es igual o mayor que la longitud de la corona.
G	Tanto en dientes mono y multirradiculares, se observa el inicio de la mineralización en el nivel de la cripta, en la forma de conos invertidos o conos. No hay fusión de estos puntos mineralizados.
H	a. El ápice está completamente cerrado. b. El espacio del ligamento periodontal tiene un espesor uniforme alrededor de la raíz y el ápice.

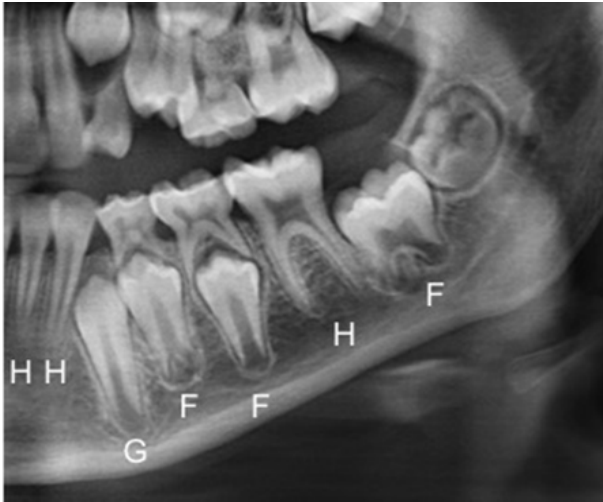


Figura 1. Detalle de radiografía panorámica de paciente sexo masculino de 9,10 años, donde se observan los estadios de maduración del método de Demirjian *et al.* 17 (1973) de los dientes 31 al 37: 31(H:11,8); 32(H:13,7); 33(G:11,0); 34(F:12,3); 35(F:12,8); 36(H:19,3); 37(F:13,2). El índice de maduración dental corresponde a 94,1 y a una edad dental de 12,0 años, indicando un desarrollo avanzado de acuerdo al método.

un estadio y a éste le corresponde una puntuación, las puntuaciones se suman para obtener un índice de maduración dental el cual se transforma en ED mediante tablas de referencias disponibles por sexo. Los autores proponen ilustraciones esquemáticas de los estadios, la imagen radiográfica correspondiente y un texto descriptivo. El método ha demostrado una consistente y significativa sobre-estimación de la EC en individuos del sexo masculino entre 3-15 años (0,62 años) y en individuos del sexo femenino con edades entre 4-16 años (0,76 años) ²⁶, por ello los valores de las puntuaciones y las tablas de referencia han sido actualizadas a distintas poblaciones con la finalidad de mejorar la precisión de la estimación de la edad ^{3,26}.

Limitaciones

En general, los métodos que proponen categorías ordinales para clasificar los estadios de maduración asumen que los mismos aparecen a intervalos homogéneamente distribuidos durante el periodo de desarrollo del individuo, sin embargo, la mayoría de los mismos ocurre durante los primeros cuatro años en los varones y entre los 3-4 años en las niñas, a partir de allí se produce un estadio de maduración por año después de los 10 años de edad, por lo que existe un intervalo prolongado en que no se observan cambios en la maduración dentaria. El método de Nolla ¹⁶ emplea una escala ordinal para el cálculo de la edad por lo que el procedimiento de interpo-

lación entre las puntuaciones cuando el diente se encuentra entre dos estadios, conduce a un cálculo inapropiado de la ED, siendo esta una limitante. En este contexto, la información derivada de la ED debe ser evaluada en el marco de referencia del método utilizado, en particular como éste transforma el grado de madurez alcanzado a “edad”, y considerada en conjunto con otros parámetros de EB ²⁷. Una diferencia EC-ED de ± 2 años es generalmente definida como normal en el diagnóstico clínico, discrepancias mayores pueden ser consideradas como un desarrollo dental atrasado o adelantado ³.

Evaluación de la edad ósea

Evaluación de la maduración ósea en radiografías de mano y muñeca.

El estudio del desarrollo de los centros de osificación presentes en radiografías de mano y muñeca es uno de los métodos más empleados en pediatría pues permite evaluar la EO y determinar el potencial de crecimiento restante, por esta razón son parte integral del diagnóstico ortodóntico ^{3,4,10}. El grado de maduración de las epífisis, así como el tamaño, morfología y grado de osificación de 20 huesos de la mano es estudiado a través de dos enfoques: el primero, supone la comparación de la radiografía del paciente con un “estándar” o radiografía impresa contenida en un “atlas” como el de Greulich & Pyle ¹². La referencia representa el desarrollo esquelético de un individuo con determinada EC, este atlas muestra estándares separados por sexo, desde el nacimiento hasta los 19 años de edad para el masculino, y 18 años en el femenino, en intervalos variables (3 meses a 1 año entre estándares). Las diferencias reportadas entre la EO estimada por el método y la EC, varían entre -0,52 a 0,47 años ²⁸.

El segundo enfoque es el de “puntuaciones” desarrollado en el método de Tanner *et al.* ¹⁴. En éste se evalúan centros de osificación específicos mediante dos sistemas: “RUS” (por sus siglas en inglés de radio-ulna-short bones), en el cual se examina el radio, el cúbito, falanges y metacarpianos seleccionados y “Carpal” donde se analizan los huesos de la muñeca, excepto el pisiforme. A cada hueso se le asigna un estadio denominado con las letras A-H, definido por tres criterios escritos, a cada estadio se le asigna una puntuación o “score ponderado”,

que luego es sumada para obtener un índice de maduración esquelética, el cual es transformado en EO mediante tablas específicas por sexo. El método ha sido estandarizado en diversos países, con la finalidad de que sea apropiado para distintos grupos étnicos, asimismo, es considerado más objetivo que el de Greulich & Pyle¹² mostrando mayor reproducibilidad que éste^{6,8,9}. La base matemática de ese método fue la empleada para la construcción del método de Demirjian *et al.*¹⁷. La evaluación de la maduración esquelética también es empleada para conocer si el individuo se encuentra en el brote de crecimiento puberal (BCP), aplicando, por ejemplo, los métodos de Fishman²¹ o Grave&Brown²⁰ (Tabla II, Figura 2).

Limitaciones

El grado de maduración esquelética es dependiente de la raza y el estatus socioeconómico, este último condiciona la nutrición y el ambiente en los que se desarrolla el individuo^{3,5,7}. Asimismo, existe una tendencia secular a una maduración más temprana, comparada con la presente en el momento de la construcción de los métodos mencionados, por lo que la EO estimada debe ser interpretada con cautela^{3,7}, especialmente en individuos con condiciones de desarrollo distintas a la población empleada para

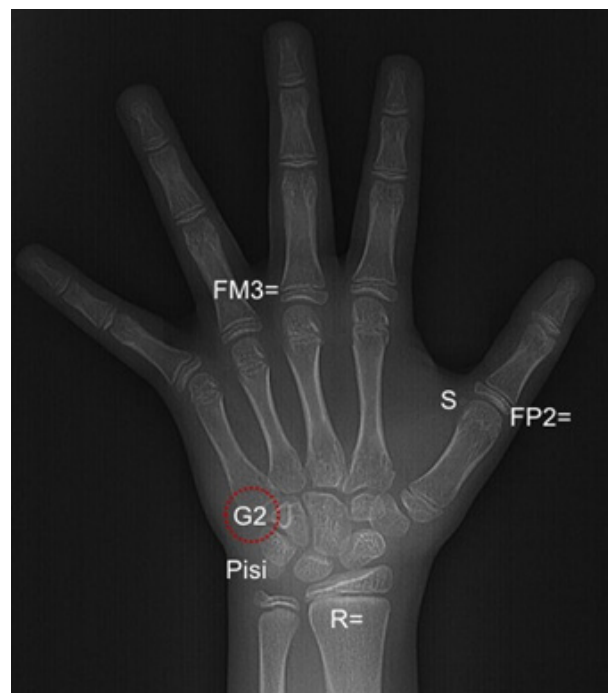


Figura 2. Radiografía de mano y muñeca de paciente sexo femenino con 8 años de edad quien presenta el evento de osificación G2 (estadio 2 del hueso ganchoso), lo que indica que el paciente está en el pico de crecimiento puberal de acuerdo al método de Grave & Brown²⁰ (1976).

Leyenda: FP2= epífisis de igual longitud que la diáfisis en la falange proximal del segundo dedo. FM3= epífisis de igual longitud que la diáfisis en la falange media del tercer dedo. Pisi: osificación visible del pisiforme. R = epífisis de igual longitud que la diáfisis en el radio. S: osificación visible del sesamoideo. G2 ganchoso en segundo estadio de maduración.

Tabla II. Estadios de maduración ósea que indican el brote de crecimiento puberal (BCP) de acuerdo a Grave & Brown²⁰ (1976).

ETAPAS DEL BCP	ESTADIO	EVENTOS DE OSIFICACIÓN	DESCRIPCIÓN
Antes	1	1 FP2=	Epífisis de igual longitud que la diáfisis en la falange proximal del segundo dedo.
	2	2 FM3=	Epífisis de igual longitud que la diáfisis en la falange media del tercer dedo.
		3 Pisi	Osificación visible del hueso pisiforme
Inicio	3	4 G-1	Osificación insipiente del gancho del hueso ganchoso.
		5 R	Epífisis de igual longitud que la diáfisis en el Radio.
	4	6 S	Osificación visible del sesamoideo.
		7 G-2	Osificación avanzada del gancho del hueso ganchoso.
Pico	5	8 FM3Cap	Epífisis corona la diáfisis en la falange media del tercer dedo.
		9 FP1Cap	Epífisis corona la diáfisis en la falange proximal del primer dedo.
		10 RCap	Epífisis corona la diáfisis en el Radio
Final	6	11 FD3u	Unión de la epífisis con la diáfisis en la falange distal del tercer dedo.
		7	12 FP3u
Después	8	13 FM3u	Unión de la epífisis con la diáfisis en la falange media del tercer dedo.
		9	14 Ru

la estandarización del método. Aunque el atlas de Greulich & Pyle¹² es ampliamente utilizado^{7,28}, ha demostrado una alta variación intra e interobservador, debido a que la selección del estándar del atlas es realizada a la “mejor aproximación” de la radiografía del paciente, por otro lado, debido a la muestra utilizada como referencia para su construcción, puede no ser de uso universal en otras poblaciones^{7,9,10,29}. En relación a la precisión esperada de la EO determinada por estos métodos, una incerteza en el rango de ± 2 años es asumida³.

Evaluación de la maduración vertebral cervical en radiografías laterales de cráneo

El método de maduración vertebral cervical (MVC) se utiliza para estimar en qué etapa de desarrollo esquelético craneofacial se encuentra el individuo y se emplea la radiografía cefálica lateral, la cual es utilizada rutinariamente con fines diagnósticos y de seguimiento en el tratamiento ortodóntico⁴. Los estadios de maduración vertebral cervical (EMVC) se determinan mediante el estudio de la aparición una concavidad en el borde inferior de las vértebras cervicales C2, C3 y C4 y el cambio en la forma y tamaño del cuerpo de C3 y C4. Existe una gran variedad de métodos MVC, desde el simple análisis cualitativo de la forma y el tamaño vertebral^{4,13,30}, mediciones cuantitativas del cuerpo vertebral, algunas de las cuales se limitan a distancias y proporciones de altura y anchura y la profundidad de la concavidad inferior¹⁵ y a otras medidas obtenidas mediante análisis morfométrico geométrico³¹ o fórmulas de regresión lineal empleadas para predecir la madurez esquelética mediante ecuaciones de regresión³²⁻³³.

En el 2018, McNamara & Franchi⁴ elaboraron una guía del uso para el método de MVC, para ello definieron seis estadios y un mecanismo de dos pa-

sos para facilitar su comprensión. El primero consiste en evaluar el borde inferior de C2, C3 y C4, el cual inicialmente es plano y progresa a una concavidad franca; en el segundo paso se valora la forma, en una secuencia típica que progresa de trapezoidal a rectangular con el eje mayor en sentido horizontal, luego a cuadrada y por último a rectangular con su eje mayor en sentido vertical (*Tabla III*).

Se han realizado diversos estudios sobre la aplicabilidad del MCV para la valoración de la maduración esquelética. Si bien algunos señalan su utilidad como indicador del BCP³⁴, otros indican que el MVC es modestamente efectivo para determinar la cantidad de crecimiento cráneo facial post pico de crecimiento. Nestman *et al.*³⁵, por su parte, al evaluar la reproducibilidad de los patrones vertebrales individuales de MVC, concluyó que este método es subjetivo, dada la dificultad en clasificar los cuerpos vertebrales de C3 y C4, recomendando que debe ser respaldado por otros indicadores biológicos de desarrollo. Szemraj *et al.*² en su revisión sistemática encontraron una alta correlación (0,616 a 0,937) entre los estadios de maduración determinados en las vértebras cervicales y los de la mano y la muñeca.

Limitaciones

La valoración del patrón de crecimiento esquelético a través de las vértebras puede verse limitada por la dificultad del reconocimiento de los cambios en los cuerpos vertebrales³⁵, sin embargo, esto es una limitación común a todos los métodos con un enfoque morfológico.

Evaluación de la maduración de la sutura palatina media

La constricción transversal del maxilar se asocia con diversos problemas que incluyen mordida cruzada posterior (dental y/o esquelética), apiñamien-

Tabla III. Estadios de maduración cervical de acuerdo a McNamara & Franchi⁴ (2018).

Borde inferior de C2, 3 y 4	A, A, A	C, A, A	C, C, A	C, C, C	C, C, C	C, C, C
Morfología de C3	T	T	T	RH	Cu/RH	RV/RH
Morfología de C4	T	T	T/RH	RH	Cu/RH	RV/RH
Implicación clínica	Estadio prepuberal	Estadio de “preparación” prepuberal	Estadio circumpuberal	Estadio circumpuberal	Estadio postpuberal	Estadio postpuberal

Leyenda: C2: segunda vértebra cervical; C3: tercera vértebra cervical; C4: cuarta vértebra cervical; A: aplanado; C: cóncavo; T: trapezoidal; Cu: cuadrado; RH: rectangular horizontal; RV: rectangular vertical.

to dental, desarmonía oclusal, estrechamiento de las vías respiratorias faríngeas, alteraciones en la postura de la lengua y respiración bucal, lo que produce efectos significativos en la función muscular y estética²³. La expansión maxilar se realiza para corregir la constricción transversal maxilar y los ejes de los dientes posteriores, disminuir o eliminar el apiñamiento dental y establecer una relación maxilo-mandibular favorable. El procedimiento de expandir el maxilar utilizando un aparato removible o fijo en pacientes jóvenes es sencillo debido a que la estructura de la sutura es simple³⁶.

Se ha observado que existen diferencias en la morfología de la sutura palatina media (SPM) con respecto a la edad del paciente, dichos cambios se observan desde la pubertad hasta la edad adulta, lo que proporciona una base para la posible evaluación del proceso de maduración de la misma. El inicio y el avance de la fusión de la SPM varían con la edad y el sexo^{21, 23, 36}.

Revelo & Fishman²² en 1994 propusieron una evaluación de la morfología de la SMP con radiografías oclusales antes de la terapia de expansión rápida del maxilar. Sin embargo, las radiografías oclusales no son confiables porque el hueso vómer y las estructuras de la nariz se superponen al área media del paladar y, por lo tanto, pueden dar lugar a interpretaciones radiográficas erróneas acerca de la fusión de la sutura. En el año 2013, Angelieri *et al.*²³ describieron un método de evaluación con imágenes de tomografía computarizada de haz cónico (TCHC) basado en las etapas de maduración de la sutura palatina media (MSPM). Un primer parámetro es la interdigitación, es decir, la relación entre la longitud de la sutura y la distancia entre su inicio y final, mostrando el cambio de una interfaz plana en la infancia a una estructura interdigitada en la adolescencia. El segundo parámetro es la osificación, es decir, la relación entre la longitud de la sutura osificada y la longitud de la sutura expresando la "fusión" que la sutura inicia en la adolescencia y continúa hacia la edad adulta. Una tercera es la relación de densidad, es decir, la relación entre la densidad de la sutura y un área de referencia, que representa tanto el aumento de la densidad mineral ósea que ocurre durante la maduración esquelética para la osificación de la sutura.

En este método se determinan cinco etapas de maduración, denominadas de la A a la E (*Tabla IV, Figuras 3 y 4*), como una forma de proporcionar datos confiables al clínico para la toma de decisiones entre la expansión rápida del maxilar (ERM) exclusivamente o la expansión maxilar rápida asistida quirúrgicamente (ERAQ) para pacientes adolescentes y adultos jóvenes. Los pacientes en estadios A y B tendrían menos resistencia y mayores efectos esqueléticos con ERM que en los del estadio C, mientras tanto, para pacientes en estadios D y E, se recomienda la ERAQ²³.

El método de MSPM ha sido estudiado para validar su uso^{23, 36, 37}. Jang *et al.*³⁶ estudiaron la posibilidad de predecir la MSPM mediante la clasificación de Angelieri *et al.*²³ en imágenes de TCHC e investigar las relaciones con otros índices de la edad de desarrollo. Los resultados mostraron fuertes correlaciones y altas asociaciones de la EO y MVC con el método MSPM, lo que sugiere que puede ser utilizado como método de evaluación. Por su parte, Jiménez-Valdivia *et al.*³⁷, utilizaron MSPM para evaluar los estadios de maduración en individuos de 10 a 25 años divididos en tres grupos, adolescentes (n = 48), postadolescentes (n = 52) y adultos jóvenes (n = 100). En los resultados se observó que en los sujetos mayores de 20 años podría presentarse la posibilidad de encontrar la SPM abierta con variaciones según el sexo, 24,5% para sexo masculino y 9,6% para femenino. En consecuencia, estos autores concluyen que a pesar que la osificación de la sutura es muy variable, podría recomendarse el uso de TCHC para indicar la posibilidad si se requiere expansión del maxilar. Isfelg *et al.*³⁸ 2019, investigaron sobre la confiabilidad y utilidad del método de Angelieri *et al.*²³ para la predicción exitosa de los resultados del tratamiento con ERM. Los autores indicaron que sus resultados no respaldaron la eficacia de método para predecir la magnitud de los cambios presentados en los pacientes, y concluyeron que los clínicos deben ser cautelosos al aplicarlo.

Limitaciones

Debido al uso de TCHC el examen debe indicarse después de considerar si la información proporcionada es crítica para la toma de la decisión clínica. Se recomienda la obtención de un volumen tomográfico de FOV (Field of view-campo de visión) reducido,

Tabla IV. Estadios del método de clasificación para la evaluación individual de la morfología de la sutura palatina media descritos por Angeliери *et al.*²³ (2013).

ETAPA	DESCRIPCIÓN
A	Línea de sutura recta de alta densidad con poca o ninguna interdigitación.
B	La sutura aparece como una línea festoneada de alta densidad. Puede presentar áreas pequeñas donde se ven dos líneas paralelas, festoneadas, de alta densidad, cercanas entre sí y separadas por pequeños espacios de baja densidad.
C	La sutura se presenta como dos líneas paralelas, festoneadas, de alta densidad, cercanas entre sí, separadas por pequeños espacios de baja densidad en los huesos maxilar y palatino. La sutura puede observarse con un patrón recto o irregular.
D	Fusión de la sutura en el hueso palatino, desde posterior hacia anterior. La densidad ósea parasutural aumentada en comparación con la densidad del hueso parasutural maxilar. En la porción maxilar de la sutura aún no se ha producido la fusión, y se observan dos líneas de alta densidad separadas por pequeños espacios de baja densidad.
E	Fusión de la sutura en el maxilar. Por lo tanto, no es visible en al menos una porción del maxilar. La densidad ósea es la misma que en otras regiones del paladar.

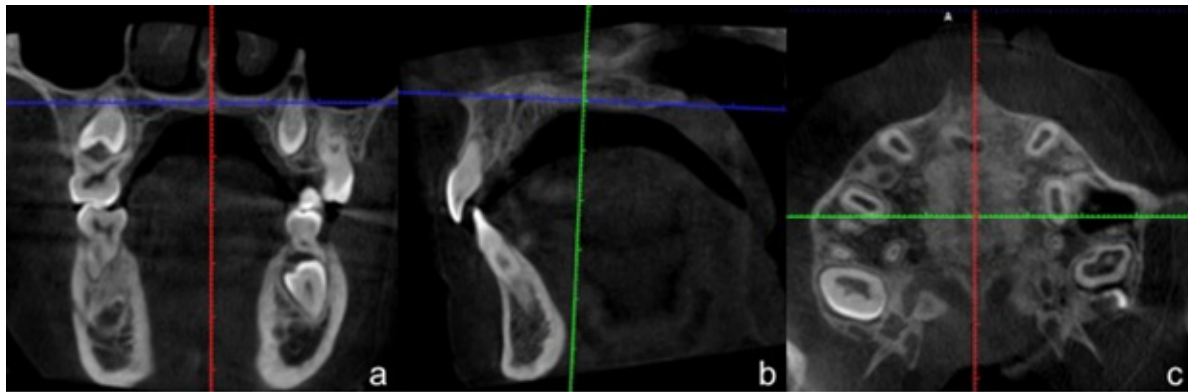


Figura 3. Representación del procedimiento de orientación el volumen tomográfico de acuerdo a Angeliери *et al.*²³ (2013), con la finalidad de obtener el corte axial para evaluar la sutura palatina media: a. Corte Coronal; b. Corte Sagital; c. Corte axial. En los cortes coronales y sagitales la línea azul, que representa el plano axial, debe pasar por el centro del paladar.

con la finalidad de disminuir la dosis de radiación al paciente³⁹.

¿Qué hay de nuevo en el estudio de la maduración dental y ósea?

La TCHC ha permitido la evaluación precisa de los dientes y los maxilares en los tres planos y revolucionado el estudio anatómico del complejo maxilofacial, en este sentido, ha sido empleada en la valoración del desarrollo dentario ofreciendo un mayor detalle que la radiografía panorámica, la cual es rutinariamente empleada con este fin^{1, 24,40}. Las reconstrucciones volumétricas en 3D proporcionan, de acuerdo a Ginzolova *et al.*¹ una mejor observación de la zona apical que las reconstrucciones panorámicas generadas por la TCHC y consecuentemente la asignación del estadio de maduración es más preciso, de manera que la diferencia entre la ED y la EC se reduce.

El software BoneXpert (Visiana, Dinamarca) es una herramienta completamente automatizada para la estimación de la maduración ósea. El softwa-

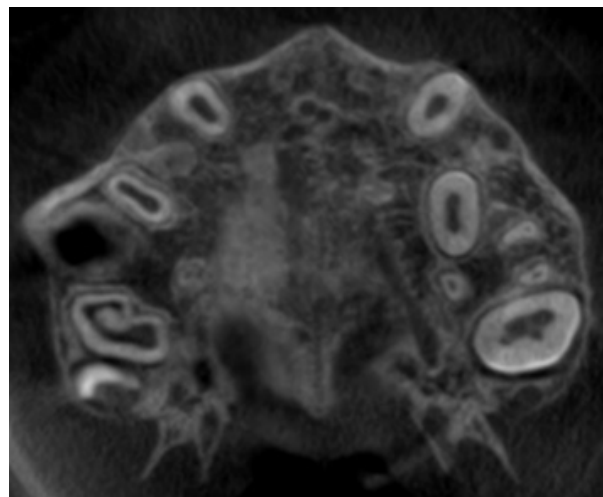


Figura 4. Corte axial de tomografía computarizada de haz cónico del paciente masculino de 9,10 años donde se observa la sutura palatina en estadio A de acuerdo a Angeliери *et al.*²³ (2013).

re analiza el desarrollo esquelético en varias etapas. La primera define los bordes e intensidad de la imagen radiográfica en los mismos 13 puntos de interés empleados en RUS del método de Tanner *et al.*¹⁴, en este punto el sistema también define si la imagen está completa y si es técnicamente apropiada para

el análisis. En el próximo paso, la EO es evaluada en estos 13 huesos separadamente. El último paso es transformar la sumatoria de esta EO de acuerdo a los métodos de Greulich & Pyle⁴² y Tanner *et al.*¹⁴. La determinación de la EO está disponible para niños entre los 2.5 a 19 años y niñas con edades entre los 2-18 años^{8, 10, 29}.

Por otro lado, modelos de aprendizaje profundo (Deep learning) han sido desarrollados para estimar la MCV. Kim *et al.*⁴¹ propusieron tres modelos de clasificación de la maduración vertebral basados en redes neuronales convolucionales (RNC): un modelo de un paso que utiliza solo la clasificación MVC, un modelo de dos pasos con detección de región de interés (ROI) y clasificación MVC, y un modelo de tres pasos con detección de ROI, segmentación cervical, y clasificación MVC. El modelo basado en segmentación de tres pasos produjo la mejor precisión (62,5%) en comparación con los modelos que no estaban basados en la segmentación.

Los estudios de análisis inteligente de imágenes en el campo del crecimiento y desarrollo bucomaxilofacial se encuentran en la etapa de exploración. La fusión de imágenes basada en la tecnología de visión por computadora ayuda a extraer la información de imágenes de múltiples secciones, reducir la interferencia y luego sintetizar imágenes de fusión de alta calidad para mejorar la utilización y confiabilidad de los datos. Gao *et al.*⁴² compilaron una base de datos normalizada de TCHC de la SPM que incluyó 1006 archivos de 690 participantes menores de 24 años. Los autores construyeron y optimizaron el algoritmo de fusión de imágenes con TCHC y el algoritmo de análisis de características de textura de imagen. Realizaron y probaron la RNC de predicción del rango de edad. En los resultados mostrados, las imágenes de fusión de la SPM contienen información semántica completa para evaluar el estado de maduración y osificación durante el período de rápido crecimiento y desarrollo. La correlación y la homogeneidad son las dos características de textura con mayor relevancia para la EC. El desempeño general del modelo RNC de predicción de rango de edad fue satisfactorio, especialmente en el rango de 4 a 10 años y de 17 a 23 años.

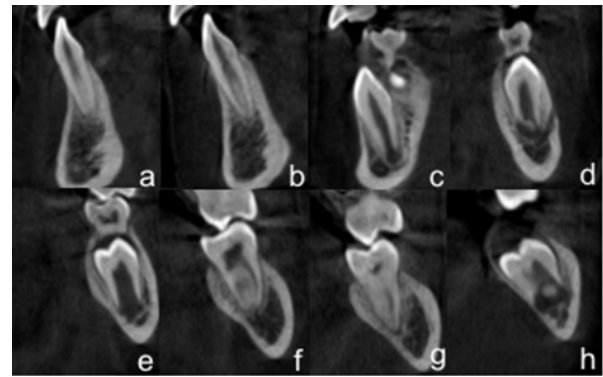


Figura 5. Reconstrucciones multiplanares de tomografía computarizada de haz cónico del paciente de sexo masculino de 9,10 años, donde se observa el desarrollo de los dientes 31 al 37. Cortes sagitales a-d corresponden a los dientes 31 al 34; cortes coronales e, diente 35; f y g; raíces mesial y distal del diente 36; h: raíz mesial del diente 37.

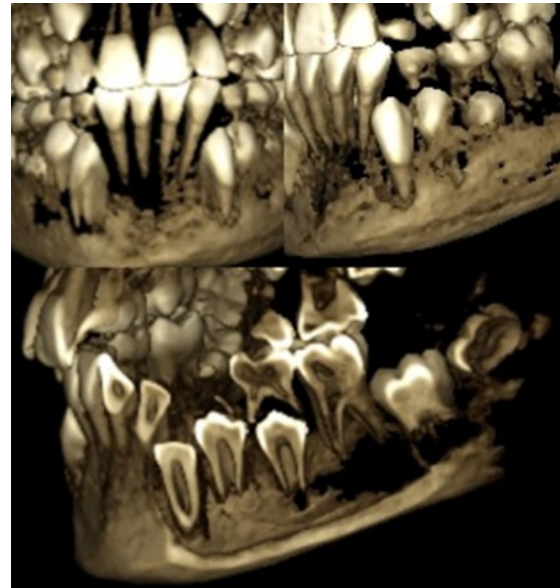


Figura 6. Reconstrucciones volumétricas en 3D de tomografía computarizada de haz cónico del paciente de sexo masculino de 9,10 años, donde se observa el desarrollo de los dientes 31 al 37.

Conclusiones

Basado en la literatura revisada, los métodos radiográficos empleados para la valoración del crecimiento y desarrollo en Ortodoncia, presentan fortalezas y limitaciones en su aplicación, lo cual debe ser considerado en la selección de un único método o un conjunto de ellos. Por tratarse de radiación ionizante es prioritario el empleo de una dosis de radiación lo más baja posible que permita obtener imágenes de calidad diagnóstica, que proporcionen la mayor cantidad de información para tomar decisiones sobre el tipo de tratamiento ortodóntico, el momento más adecuado para su inicio, duración y seguimiento, enfocado en los requerimientos del paciente.

Referencias bibliográficas

- Ginzelova K, Dostalova T, Eliasova H, Bruna R, Vinsu A. Comparison of dental and chronological age based on CBCT-generated panoramic images and reconstructed 3D images. *Anthropol Anz.* 2019;76(1):49-56. Doi:10.1127/anthranz/2019/0784
- Szemraj A, Wojtaszek-Słomińska A, Racka-Pilszak B. Is the cervical vertebral maturation (CVM) method effective enough to replace the hand-wrist maturation (HWM) method in determining skeletal maturation?-A systematic review. *Eur J Radiol.* 2018;102:125-128. Doi:10.1016/j.ejrad.2018.03.012
- Kirschneck C, Proff P. Age assessment in orthodontics and general dentistry. *Quintessence Int.* 2018;49(4):313-323. Doi:10.3290/j.qi.a39960
- McNamara JA Jr, Franchi L. The cervical vertebral maturation method: A user's guide. *Angle Orthod.* 2018;88(2):133-143. Doi:10.2319/111517-787.1
- Martínez GVM, Ortega-Pertuz AI. Comparación de los métodos de Nolla, Demirjian y Moorrees en la estimación de la edad dental con fines forenses. *Rev. Odont Mex.* 2017;21(3):155-64. Disponible en: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?pid=S1870-199X2017000300155&script=sci_abstract
- Ording Müller LS, Offiah A, Adamsbaum C, et al. Bone age for chronological age determination - statement of the European Society of Paediatric Radiology musculoskeletal task force group. *Pediatr Radiol.* 2019;49(7):979-982. Doi:10.1007/s00247-019-04379-4
- Prokop-Piotrkowska M, Marszałek-Dziuba K, Moszczyńska E, Szalecki M, Jurkiewicz E. Traditional and New Methods of Bone Age Assessment-An Overview. *J Clin Res Pediatr Endocrinol.* 2021;13(3):251-262. Doi:10.4274/jcrpe.galenos.2020.2020.0091
- Satoh M. Bone age: assessment methods and clinical applications. *Clin Pediatr Endocrinol.* 2015;24(4):143-152. Doi:10.1297/cpe.24.143
- Alshamrani K, Messina F, Offiah AC. Is the Greulich and Pyle atlas applicable to all ethnicities? A systematic review and meta-analysis. *Eur Radiol.* 2019;29(6):2910-2923. Doi:10.1007/s00330-018-5792-5
- Dallora AL, Anderberg P, Kvist O, Mendes E, Diaz Ruiz S, Sanmartin Berglund J. Bone age assessment with various machine learning techniques: A systematic literature review and meta-analysis. *PLoS One.* 2019;14(7):e0220242. Doi:10.1371/journal.pone.0220242
- Kök H, Izgi MS, Acilar AM. Determination of growth and development periods in orthodontics with artificial neural network. *Orthod Craniofac Res.* 2021;24 Suppl 2:76-83. Doi:10.1111/ocr.12443
- Greulich WW, Pyle SI. Radiographic atlas of skeletal development of the hand and wrist: Based on the Brush Foundation study of human growth and development initiated by T. Wingate Todd. London: Stanford University Press; 1950.
- Lamparski, Don G. Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae. *Am J Orthod.* 1975;67:458-459. Doi:10.1016/0002-9416(75)90038-X
- Tanner JM, Healy MJR, Goldstein H, Cameron N. Assessment of skeletal maturity and prediction of adult height (TW3 method). 3rd ed. London: WB Saunders, Harcourt Publishers Ltd; 2001.
- Baccetti T, Franchi L, McNamara JA. The cervical vertebral maturation (CVM) Method for the assessment of optimal treatment timing in dentofacial orthopedics. *Semin Orthod.* 2005;11(3):119-29. Disponible en: <https://doi.org/10.1053/j.sodo.2005.04.005>
- Nolla CM. The development of the permanent teeth. *J Dent Child.* 1960;27: 254-66. Disponible en: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://www.dentalage.co.uk/wp-content/uploads/2014/09/nolla_cm_1960_development_perm_teeth.pdf
- Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment. *Hum Biol.* 1973;45(2):211-27.
- Eklöf O, Ringertz H. A method for assessment of skeletal maturity. *Ann Radiol (Paris).* 1967;10(3):330-336.
- Cameriere R, Ferrante L, Cingolani M. Age estimation in children by measurement of open apices in teeth. *Int J Legal Med.* 2006;120(1):49-52. Doi:10.1007/s00414-005-0047-9
- Grave KC, Brown T. Skeletal ossification and the adolescent growth spurt. *Am J Orthod.* 1976;69(6):611-619. Doi:10.1016/0002-9416(76)90143-3
- Fishman LS. Radiographic evaluation of skeletal maturation. A clinically oriented method based on hand-wrist films. *Angle Orthod.* 1982;52(2):88-112. Doi:10.1043/0003-3219(1982)052<0088:REOSM>2.0.CO;2
- Revelo B, Fishman LS. Maturational evaluation of ossification of the midpalatal suture. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1994;105(3):288-292. Doi:10.1016/S0889-5406(94)70123-7
- Angelieri F, Cevidanes LH, Franchi L, Gonçalves JR, Benavides E, McNamara JA Jr. Midpalatal suture maturation: classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2013;144(5):759-769. Doi:10.1016/j.ajodo.2013.04.022
- Merdietio Boedi R, Shepherd S, Mânica S, Fran-

- co A. CBCT in dental age estimation: A systematic review and meta analysis. *Dentomaxillofac Radiol.* 2022;51(4):20210335. Doi:10.1259/dmfr.20210335
25. Sehrawat JC, Singh M, Sharma, V. Forensic dental age estimation of sub-adult individuals using Nolla's radiographic method: A systematic review and meta-analysis. *Braz J Forensic Sci Med Law Biot.* 2016;6(1):32-46. Doi:10.17063/bjfs6(1)y201632
26. Esan TA, Yengopal V, Schepartz LA. The Demirjian versus the Willems method for dental age estimation in different populations: A meta-analysis of published studies. *PLoS One.* 2017;12(11):e0186682. Doi:10.1371/journal.pone.0186682
27. Liversidge HM. The assessment and interpretation of Demirjian, Goldstein and Tanner's dental maturity. *Ann Hum Biol.* 2012;39(5):412-431. Doi:10.3109/03014460.2012.716080
28. Dahlberg PS, Mosdøl A, Ding Y, et al. A systematic review of the agreement between chronological age and skeletal age based on the Greulich and Pyle atlas. *Eur Radiol.* 2019;29(6):2936-2948. Doi:10.1007/s00330-018-5718-2
29. Pose Lepe G, Villacrés F, Silva Fuente-Alba C, Guilloff S. Correlación en la determinación de la edad ósea radiológica mediante el método de Greulich y Pyle versus la evaluación automatizada utilizando el software BoneXpert [Correlation in radiological bone age determination using the Greulich and Pyle method versus automated evaluation using BoneXpert software]. *Rev Chil Pediatr.* 2018;89(5):606-611. Doi:10.4067/S0370-41062018005000705
30. Hassel B, Farman AG. Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae [published correction appears in *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995;107(6):19]. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995;107(1):58-66. Doi:10.1016/s0889-5406(95)70157-5
31. Chatzigianni A, Halazonetis DJ. Geometric morphometric evaluation of cervical vertebrae shape and its relationship to skeletal maturation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2009;136(4):481.e1-483. Doi:10.1016/j.ajodo.2009.04.017
32. Caldas Mde P, Ambrosano GM, Haiter Neto F. New formula to objectively evaluate skeletal maturation using lateral cephalometric radiographs. *Braz Oral Res.* 2007;21(4):330-335. Doi:10.1590/s1806-83242007000400009
33. Verma SL, Tikku T, Khanna R, Maurya RP, Srivastava K, Singh V. Predictive accuracy of estimating mandibular growth potential by regression equation using cervical vertebral bone age. *Natl J Maxillofac Surg.* 2021;12(1):25-35. Doi:10.4103/njms.NJMS_264_20
34. Manabe A, Ishida T, Kanda E, Ono T. Evaluation of maxillary and mandibular growth patterns with cephalometric analysis based on cervical vertebral maturation: A Japanese cross-sectional study. *PLoS One.* 2022;17(4):e0265272. Doi:10.1371/journal.pone.0265272
35. Nestman TS, Marshall SD, Qian F, Holton N, Franciscus RG, Southard TE. Cervical vertebrae maturation method morphologic criteria: poor reproducibility. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2011;140(2):182-188. Doi:10.1016/j.ajodo.2011.04.013
36. Jang HI, Kim SC, Chae JM, et al. Relationship between maturation indices and morphology of the midpalatal suture obtained using cone-beam computed tomography images. *Korean J Orthod.* 2016;46(6):345-355. Doi:10.4041/kjod.2016.46.6.345
37. Jimenez-Valdivia LM, Malpartida-Carrillo V, Rodríguez-Cárdenas YA, Dias-Da Silveira HL, Arriola-Guillén LE. Midpalatal suture maturation stage assessment in adolescents and young adults using cone-beam computed tomography. *Prog Orthod.* 2019;20(1):38. Doi:10.1186/s40510-019-0291-z
38. Isfeld D, Flores-Mir C, Leon-Salazar V, Lagravère M. Evaluation of a novel palatal suture maturation classification as assessed by cone-beam computed tomography imaging of a pre- and postexpansion treatment cohort. *Angle Orthod.* 2019;89(2):252-261. Doi:10.2319/040518-258.1
39. Christovam IO, Lisboa CO, Vilani GNL, et al. Tomographic analysis of midpalatal suture prior to rapid maxillary expansion. *Dental Press J Orthod.* 2021;26(3):e2119300. Doi:10.1590/2177-6709.26.3.e2119300.oar
40. Zirk M, Zoeller JE, Lentzen MP, Bergeest L, Buller J, Zinser M. Comparison of two established 2D staging techniques to their appliance in 3D cone beam computer-tomography for dental age estimation. *Sci Rep.* 2021;11(1):9024. Doi:10.1038/s41598-021-88379-1
41. Kim EG, Oh IS, So JE, et al. Estimating Cervical Vertebral Maturation with a Lateral Cephalogram Using the Convolutional Neural Network. *J Clin Med.* 2021;10(22):5400. Doi:10.3390/jcm10225400
42. Gao L, Chen Z, Zang L, Sun Z, Wang Q, Yu G. Midpalatal Suture CBCT Image Quantitative Characteristics Analysis Based on Machine Learning Algorithm Construction and Optimization. *Bioengineering (Basel).* 2022;9(7):316. Doi:10.3390/bioengineering9070316