



**VNIVERSIDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

TESIS DOCTORAL

EVALUACIÓN TOMOGRÁFICA DE LA MADUREZ ESQUELÉTICA DE ESTRUCTURAS ANATÓMICAS CON APLICACIÓN EN ORTODONCIA

Autor:

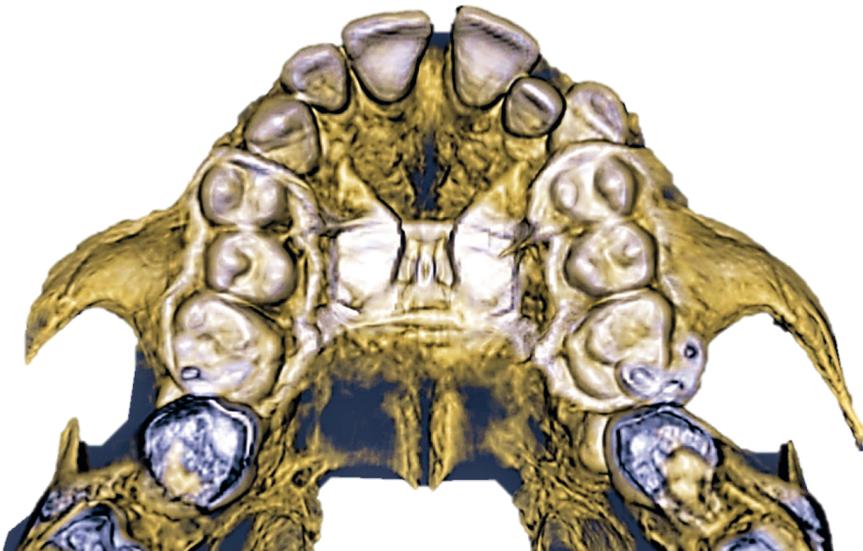
María Bendición Delgado Ramos

Director/es:

Prof. Dr. D. Martin Romero Maroto

Prof. Dr. D. Manuel Bravo Pérez

Prof. Dra. Dña. Mónica Cano Rosás



Programa de Doctorado
Cirugía y Odontología

Salamanca, 2020

Universidad de Salamanca
Facultad de Medicina
Departamento de Cirugía



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

DOCTORADO EN CIRUGÍA Y ODONTOESTOMATOLOGÍA

TESIS DOCTORAL

***EVALUACIÓN TOMOGRÁFICA DE LA MADUREZ
ESQUELÉTICA DE ESTRUCTURAS ANATÓMICAS
CON APLICACIÓN EN ORTODONCIA***

Autora: María Bendición Delgado Ramos

Bajo la dirección de los doctores:

Prof. Dr. D. Martin Romero Maroto

Prof. Dr. D. Manuel Bravo Pérez

Prof. Dra. Dña. Mónica Cano Rosás

Salamanca, 2020



**VNiVERSiDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL

Prof. Dr. D. Francisco Santiago Lozano Sánchez,

**Director del Departamento de Cirugía de la Facultad de Medicina
de la Universidad de Salamanca**

CERTIFICA:

Que el presente Trabajo de Tesis Doctoral, titulado *“EVALUACIÓN TOMOGRÁFICA DE LA MADUREZ ESQUELÉTICA DE ESTRUCTURAS ANATÓMICAS CON APLICACIÓN EN ORTODONCIA”* ha sido realizado por **Dña. María Bendición Delgado Ramos**, para optar al Título de Doctor por la Universidad de Salamanca, cumpliendo los requisitos necesarios para su presentación y defensa ante el Tribunal Calificador.

Y para que así conste donde convenga y obren los efectos oportunos, expido el presente certificado en Salamanca a de de 2020.

Fdo. Prof. Dr. D. Francisco Santiago Lozano Sánchez
Director del Departamento de Cirugía

D. MARTIN ROMERO MAROTO, CATEDRÁTICO DEL DEPARTAMENTO DE MEDICINA Y CIRUGÍA, PSICOLOGÍA, MEDICINA PREVENTIVA Y SALUD PÚBLICA, INMUNOLOGÍA Y MICROBIOLOGÍA MÉDICA, ENFERMERÍA Y ESTOMATOLOGÍA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS DE LA SALUD DE LA UNIVERSIDAD REY JUAN CARLOS,

D. MANUEL BRAVO PÉREZ, DOCTOR EN MEDICINA Y CIRUGÍA, CATEDRÁTICO DE ODONTOLOGÍA PREVENTIVA Y COMUNITARIA DEL DEPARTAMENTO DE ESTOMATOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD DE GRANADA,

DÑA MÓNICA CANO ROSÁS, DOCTORA EN MEDICINA Y CIRUGÍA, PROFESORA AYUDANTE DOCTOR DE ORTODONCIA DEL DEPARTAMENTO DE CIRUGÍA, FACULTAD DE MEDICINA DE LA UNIVERSIDAD DE SALAMANCA

CERTIFICAN

Que el proyecto de tesis doctoral titulado “*Evaluación tomográfica de la madurez esquelética de estructuras anatómicas con aplicación en ortodoncia*” ha sido realizado bajo nuestra dirección por **Dña. María Bendición Delgado Ramos** y reúne los requisitos necesarios para su presentación y defensa ante el Tribunal Calificador para optar al **Grado de Doctor por la Universidad de Salamanca**.

Y para que así conste a los efectos oportunos, firman el presente Certificado en Salamanca, a 22 de Julio de 2020.

Fdo: M. Romero Maroto,

M. Bravo Pérez,

M. Cano Rosas

ROMERO
MAROTO
MARTIN -
05629198V

Firmado digitalmente por ROMERO MAROTO MARTIN - 05629198V
Fecha: 2020.07.21 12:07:35 +02'00'

BRAVO
PEREZ
MANUEL -
24199739J

Firmado digitalmente por BRAVO PEREZ MANUEL - 24199739J
Nombre de reconocimiento (DN): c=ES, serialNumber=IDCES-24199739J, givenName=MANUEL, sn=BRAVO PEREZ, cn=BRAVO PEREZ MANUEL - 24199739J
Fecha: 2020.07.21 09:58:00 +02'00'

CANO
ROSAS
MONICA
ELENA -
12361297Q

Firmado digitalmente por CANO ROSAS MONICA ELENA - 12361297Q
Fecha: 2020.07.21 19:34:19 +02'00'

AGRADECIMIENTOS

Siempre que he tenido la oportunidad de leer una tesis me he parado unos minutos en el apartado de los agradecimientos. Un texto más o menos corto, pero lleno de sentimientos... Es difícil entender la importancia de los agradecimientos de una tesis doctoral hasta que no se ha terminado. En ese momento, te das cuenta de cuánto tienes que agradecer a tanta gente y que a veces; las palabras parecen no ser suficientes para reflejar esa mezcla de emociones que te invaden al terminar un proyecto con el que has convivido tanto tiempo.

Esta Tesis ha sido un largo camino en el que han participado personas que me han guiado y apoyado en momentos difíciles, sin las cuales este trabajo no hubiera sido posible.

Gracias a todos ellos.

En primer lugar, quiero agradecer al Dr. Martín Romero Maroto por creer en mí; por darme la oportunidad de formarme como Ortodoncista durante tres años en la Universidad Rey Juan Carlos bajo su dirección y luego permitirme formar parte de su equipo docente en el Máster. Fueron unos años que nunca olvidaré. Gracias por su apoyo y empeño en la consecución de este estudio.

Al Dr. Manuel Bravo, por su valiosa amistad, enorme paciencia, y por sus continuos ánimos en momentos de flaqueza. Le agradezco todo el tiempo invertido y sin cuya ayuda, este trabajo no hubiera sido posible.

A la Dra. Mónica Cano Rosás, por su predisposición y ayuda; quien ha contribuido a dar el impulso final y que esta tesis llegara a buen término.

Gracias a los tres por vuestro tiempo, ánimo y, en fin; por absolutamente todo lo que habéis hecho por mí.

Necesito agradecer de forma especial a mi familia, a la que toca y a la elegida.

A mis padres y hermanos, por estar siempre a mi lado y apoyarme cuando los ánimos decaían.

A mi abuela, que siempre está pendiente.

A Clara y Ana, mis niñas, por disculpar mis ausencias y sacarme una sonrisa en cada momento de crisis o agobio y por siempre, siempre estar. A Carmen (mi rubia estadística), por nuestras llamadas a miles de kilómetros; donde a pesar de la diferencia horaria siempre sacábamos un hueco para reírnos sobre quién iba peor. Porque sólo nosotras sabemos lo que nos ha costado llevar a cabo nuestras tesis. A María José, María, Paula, Laura y Paola, que siempre están pendientes y presentes; a pesar de la distancia y aunque no podamos vernos todo lo que nos gustaría. A Vero, por esas llamadas de tiempo infinito, con muchos kilómetros de por medio.

Gracias a todas por dejarme compartir mis agobios con vosotras. Os debo varias.

*A mis padres,
por hacer de mí la persona que soy.*

*“Todas las verdades pasan por tres etapas.
Primero se ridiculizan, luego sufren una violenta
oposición y por último se aceptan como cosas evidentes.”*

Arthur Schopenhauer

ACRÓNIMOS Y ABREVIATURAS

3D: tridimensional

AOS: apnea obstructiva del sueño

BC: base craneal

CBCT: Cone Beam Computed Tomography, por sus siglas en inglés.

CVM: Cervical Vertebral Maturation, por sus siglas en inglés.

DE: desviación estándar

DICOM: Digital Imaging and Communications in Medicine, por sus siglas en inglés.

ERM: Expansión Rápida del Maxilar

ERP: Expansión Rápida Palatina

FEM: finite element analyses, por sus siglas en inglés.

FOV: Field Of View, por sus siglas en inglés.

HWM: Hand Wrist Method, por sus siglas en inglés.

HWR: Hand Wrist Radiograph, por sus siglas en inglés.

IC: Intervalo de confianza

IO: Índice de obliteración

MARPE: Miniscrew Assisted Rapid Palatal Expansión, por sus siglas en inglés.

MPM: the third finger Middle Phalanx Maturation, por sus siglas en inglés.

MPS: Midpalatal Suture, por sus siglas en inglés.

MPSM: Midpalatal Suture Maturation, por sus siglas en inglés.

MVCP: Máxima Velocidad de Crecimiento Puberal

N: Newtons

P: Valor de significación de las pruebas estadísticas

SARME: Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion, por sus siglas en inglés.

SARPE: Surgically Assisted Rapid Palatal Expansion, por sus siglas en inglés.

SMI: Skeletal Maturity Indicators, por sus siglas en inglés.

SOS: Spheno-Occipital Synchondrosis, por sus siglas en inglés.

TAC: Tomografía Axial Computarizada.

TC: Tomografía Computarizada.

ZMZ: Zygomaticomaxillary suture, por sus siglas en inglés.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

INTRODUCCIÓN	23
Descripción anatómica.....	26
Recuerdo anatómico del Maxilar superior	26
Cambios producidos durante la disyunción	29
Anatomía radiológica	30
Crecimiento transversal del maxilar	32
Osificación de la Sutura Palatina Media.....	33
Madurez Esquelética.....	42
Definición	42
Métodos para determinar la Maduración Ósea.....	42
<i>Método radiografía de mano y muñeca (HWM).....</i>	<i>43</i>
<i>Método de maduración de las vértebras cervicales (CVM).....</i>	<i>43</i>
Relación con la maduración de la sutura palatina media.....	45
Evaluación de la Sincondrosis Esfeno-occipital (SOS)	46
Definición	46
Fusión de la SOS con el crecimiento	47
<i>Métodos de evaluación del grado de fusión de la SOS.....</i>	<i>47</i>
Relación con otros indicadores de la madurez esquelética	50
OBJETIVOS.....	55
MATERIAL Y MÉTODOS	59
1. Contexto	59
2. Participantes	60
3. Materiales utilizados	62

4. Procedimiento empleado para la recogida y tratamiento de los datos.....	63
4.1. Evaluación de la maduración de la Sutura Palatina Media (MPS)	63
4.2. Evaluación del grado de fusión de la Sincondrosis Esfeno-Occipital (SOS)	70
4.3. Evaluación de la edad ósea a partir de las vértebras cervicales (CVM).....	71
4.4. Evaluación de las variables cefalométricas de patrón y clase esquelética	73
5. Definición de las variables	78
6. Sesgos	81
7. Determinación del tamaño muestral	81
8. Análisis estadístico	82
RESULTADOS	87
Descripción general de los datos analizados	87
Análisis de fiabilidad entre observadores	90
Estadística descriptiva general.....	93
Estadística inferencial.....	96
DISCUSIÓN	111
CONCLUSIONES.....	125
BIBLIOGRAFÍA.....	129
ANEXOS	149

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Suturas circunmaxilares.....	27
Figura 2. Visión sagital de huesos que integran el complejo craneofacial	27
Figura 3. Vista Oclusal del maxilar.	28
Figura 4. Efectos esqueléticos y dentarios de la expansión maxilar	29
Figura 5. Radiografía oclusal del maxilar superior donde se puede apreciar la sobreposición de estructuras anatómicas	31
Figura 6. Corte axial del maxilar a nivel de la sutura palatina media	32
Figura 7. Crecimiento facial y esquelético según Björk, donde los mayores cambios de crecimiento a nivel condilar coinciden con los mayores aumentos a nivel sutural y esquelético.....	33
Figura 8. Clasificación de las etapas de crecimiento y su relación con la maduración de la sutura palatina media establecida por Melsen	35
Figura 9. Clasificación de Angelieri y cols. de las etapas de maduración de la sutura palatina media según sus cambios morfológicos analizados con CBCT	37
Figura 10. Clasificación de la maduración de las vértebras cervicales (CVM) adaptada por Baccetti y cols.	44
Figura 11. Secuencia de la osificación de la sincondrosis esfeno-occipital tomadas del estudio de Shirley y Jantz	48
Figura 12. Imágenes sagitales de la clasificación de Franklin y Favel (en la primera fila) y de la clasificación de Lottering y cols. (en la segunda).....	49
Figura 13. Imágenes descartadas	62
Figura 14. Orientación de la cabeza para obtener el corte axial.	64

Figura 15. Vista sagital con los cambios en la orientación del plano palatino, para realizar un corte axial de la región posterior de la sutura y otro para la zona anterior..... 65

Figura 16. Vista sagital para la evaluación de un paladar grueso realizando varios cortes axiales centrales 66

Figura 17. Representación esquemática de las etapas de maduración de la Sutura Palatina Media. Etapas A-E..... 67

Figura 18. Representación esquemática de la fusión de la Sincondrosis Esfeno-Occipital. Etapas 1-5 71

Figura 19. Representación esquemática de la maduración de las vértebras cervicales (CVM). Etapas CS1 a CS6 73

Figura 20. Análisis cefalométrico para evaluar los diferentes patrones esqueléticos anteroposteriores (Clase II, I, III) y verticales (braquifacial, mesofacial y dólicofacial). 74

Figura 21. Representación esquemática de la asociación encontrada entre las etapas CVM y MPSM..... 101

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Distribución según grupos de la variable edad analizada en el estudio.....	88
Tabla 2. Distribución de las variables de madurez esquelética según edad y sexo.....	89
Tabla 3. Concordancia diagnóstica ^a en la clasificación de la sutura palatina entre estudiantes del Máster de Ortodoncia divididos por cursos y el observador <i>gold standard</i> ^b	91
Tabla 4. Concordancia diagnóstica ^a en la clasificación de la sincondrosis entre observadores y el observador <i>gold standard</i> ^b (n=12)..	92
Tabla 5. Concordancia diagnóstica ^a en la clasificación de la sutura palatina entre observadores y el observador <i>gold standard</i> ^b (n=12)..	92
Tabla 6. Tamaño muestral, mediana y desviación estándar (DE) de las variables analizadas en el estudio.	93
Tabla 7. Tamaño muestral, mediana y desviación estándar (DE) de las variables cefalométricas analizadas en el estudio.....	95
Tabla 8. Distribución según grupos de la variable edad analizada en el estudio.....	97
Tabla 9. Distribución según grupos de la variable edad (con disminución de los grupos) analizada en el estudio.....	98
Tabla 10. Distribución según grupos, de la variable sexo analizada en el estudio.....	98
Tabla 11. Distribución según grupos de la variable CVM analizada en el estudio	100
Tabla 12. Distribución según grupos de la variable SOS analizada en el estudio.....	102

Tabla 13. Distribución según grupos de la variable clase esquelética analizada en el estudio.....	103
Tabla 14. Distribución según grupos de la variable patrón facial analizada en el estudio.....	104
Tabla 15. Valores Discriminativos para MPS (etapas A y B, o A, B y C) (n=382)	106



INTRODUCCIÓN

INTRODUCCIÓN

Los problemas morfológicos y funcionales en el plano transversal pueden ser difíciles de manejar; siendo la expansión en muchas ocasiones la opción terapéutica indicada para solucionarlos. Es ampliamente conocida la relación directa entre la dimensión transversal, espacio y longitud de arcada, lo que contribuye a la presencia de malposiciones en un 40 % a 85% ^(1,2).

La compresión esquelética maxilar o deficiencia transversal es un problema frecuente que puede causar problemas estéticos y funcionales y generalmente va acompañada de apiñamiento dentario, mordida cruzada posterior uni o bilateral y corredores bucales estrechos ⁽¹⁾. Puede presentarse sola o en combinación con otras alteraciones esqueléticas en el plano vertical o anteroposterior.

La causa suele ser multifactorial y la complejidad del tratamiento variará en función del diagnóstico, severidad, características del paciente y opción terapéutica. Conseguir un efecto ortodóncico u ortopédico dependerá del tipo de aparato empleado, fuerza aplicada y edad del paciente. A lo largo de los años, se han desarrollado diferentes aparatos y protocolos de tratamiento como la Expansión Lenta del Maxilar (ELM), Expansión Rápida del Maxilar (ERM) y Expansión Rápida del Maxilar Asistida Quirúrgicamente (SARME).

En ortodoncia, a menudo se aplican fuerzas ortopédicas para resolver las discrepancias en los planos sagital, vertical y transversal; en particular la Expansión Rápida Maxilar (ERM) es el tratamiento empleado habitualmente en la corrección de la compresión ósea maxilar (con o sin mordida cruzada posterior); para aumentar la longitud de arcada y reducir el apiñamiento dental; así como facilitar la corrección de las maloclusiones Clase II división Iª y Clase III esqueléticas ^(3,4). Además, puede estar asociado con efectos terapéuticos

ventajosos en la apnea obstructiva del sueño (AOS), gracias al aumento de las dimensiones de la vía aérea nasofaríngea, mejorando la respiración nasal⁽⁵⁾.

Con la ERM se produce un incremento transversal de la base esquelética del maxilar, mediante la apertura de la sutura palatina media (MPS). El momento más efectivo y con resultados más predecibles para la expansión maxilar es durante el periodo de crecimiento prepuberal, antes de la interdigitación de la sutura palatina media y el resto de suturas circummaxilares^(6,7).

Al igual que las demás suturas craneofaciales, la MPS se hace más tortuosa e imbricada con la edad, limitando los efectos esqueléticos y con ello, la previsibilidad y estabilidad de la expansión⁽⁸⁾. Cuando se realiza la ERM en un paciente adulto o esqueléticamente maduro, la MPS esta osificada y aumenta la resistencia a las fuerzas de expansión, produciéndose mayores efectos a nivel de los procesos alveolares o mediante inclinación dental^(9,10).

Por este motivo, la expansión obtenida puede ser inestable y conducir a reabsorciones radiculares, complicaciones periodontales, fenestraciones, dehiscencias y recesiones gingivales, especialmente en pacientes sin crecimiento^(11,12).

El maxilar está unido al cráneo a través de muchas suturas, que pueden verse afectadas por la aplicación de las fuerzas ortopédicas. Aunque las fuerzas de la ERM se centran en ensanchar el maxilar, también se transmiten a las suturas circummaxilares; incluso algunos estudios han mostrado una apertura de la sincondrosis esfeno-occipital (SOS) y un aumento significativo de la actividad metabólica en ese área tras la ERM^(13,14). El impacto de estas fuerzas depende en gran medida de la etapa de maduración de las estructuras anatómicas que muestran resistencia a la separación de los huesos maxilares, ya que la capacidad adaptativa de las suturas disminuye con la edad, aumentando su resistencia⁽¹⁵⁻¹⁹⁾.

Se sabe que el complejo maxilar comienza a mostrar resistencia a las fuerzas de expansión con el envejecimiento, siendo esta resistencia no solo relacionada con la sutura palatina media (MPS) sino también las suturas pterigomaxilar, cigomático-maxilar (ZMS), cigomático-temporal y cigomático-frontal⁽²⁰⁻²⁴⁾.

Aunque numerosos autores afirman que el aumento de la edad conlleva una disminución en la respuesta esquelética maxilar a la expansión ^(8,25-27), todavía no existe consenso acerca de en qué edad debe establecerse el límite para intentar realizar dicha expansión. Es importante comprender el desarrollo y las diferentes etapas de maduración de las estructuras faciales para poder planificar el tratamiento más adecuado y predecir los resultados.

El comienzo y avance de la fusión de MPS ha sido objeto de varios estudios ^(16,28-30) siendo muy variable en edad y sexo. El conocimiento de la madurez esquelética del paciente y la variabilidad individual de la maduración de MPS permitirá evitar un fracaso en una expansión rápida maxilar convencional (ERM) o prevenir procedimientos quirúrgicos innecesarios más invasivos, como la expansión rápida maxilar asistida quirúrgicamente (SARME) o una osteotomía segmentada Le Fort I ^(19,31-34).

La edad cronológica se ha utilizado para medir el grado de madurez biológica, pero es un predictor débil debido a la gran variabilidad en los tiempos de crecimiento ⁽³⁵⁾. Estudios realizados por Baccetti, Franchi y McNamara ⁽³⁶⁾ muestran que es importante conocer el estado de maduración ósea para tomar la decisión de iniciar el tratamiento de maloclusiones importantes, como las clases II y III esqueléticas; y obtener así resultados más satisfactorios ^(36,37). También, la literatura sugiere que la duración e inicio de las etapas puberales presenta variaciones en los diferentes tipos de maloclusiones esqueléticas ⁽³⁷⁻³⁹⁾.

Los estudios acerca del crecimiento craneofacial revelan que la sincondrosis esfeno-occipital (SOS) juega un papel esencial en el crecimiento de la base craneal y su relación con el maxilar y la mandíbula ^(40,41). Algunas investigaciones sugieren que el grado de fusión de la SOS, por su osificación relativamente tardía, puede emplearse para predecir la edad esquelética ^(42,43), dado que las edades que encontraron corresponden al final del período de crecimiento puberal.

Aunque la maduración y morfología de MPS y SOS se han investigado anteriormente por separado en estudios histológicos, radiológicos y análisis de

elementos finitos; aún no existe ningún estudio que evalúe en conjunto la etapa de maduración de estas estructuras anatómicas en un mismo grupo de pacientes y si existe correlación entre ellas.

En este contexto, el conocimiento del crecimiento transversal es esencial para establecer un correcto diagnóstico y planificación del tratamiento de los problemas transversales. Además, es importante identificar predictores fiables del grado de madurez biológica que permitan una valoración individual del grado de fusión de la sutura palatina, ayudando a definir el tratamiento más recomendable para el paciente, especialmente en los adolescentes y adultos jóvenes.

Por ello, primero se realizará una revisión anatómica y del crecimiento transversal del maxilar, y luego se procederá a analizar los diferentes métodos para la valoración de la madurez esquelética.

Descripción anatómica

Al analizar el maxilar superior es imposible separarlo de las estructuras craneofaciales a las que está unido, por lo que sería más adecuado hablar del complejo naso-maxilofacial. A continuación, se procederá a describir las principales características anatómicas y radiológicas del hueso maxilar.

Recuerdo anatómico del Maxilar superior

El maxilar es un hueso par que forma la mayor parte del tercio medio del esqueleto facial, constituyendo en parte la órbita, la bóveda palatina, las cavidades nasales y la fosa infratemporal.

Se encuentra unido al cráneo por la sutura fronto-maxilar, la cigomático-maxilar, la cigomático-temporal y la pterigopalatina; las cuales están dispuestas de forma paralela unas con otras y orientadas oblicuamente ⁽⁴⁴⁾ (Figura 1).

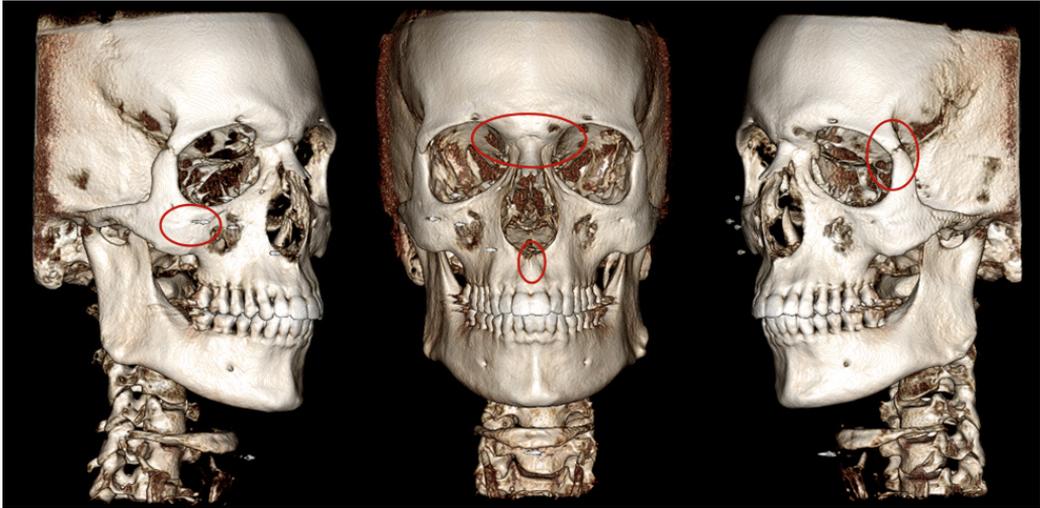


Figura 1. Suturas circunmaxilares.

Cada maxilar consta de un cuerpo y cuatro apófisis: frontal, cigomática, palatina y alveolar. La frontal o apófisis ascendente, se dirige hacia arriba para articularse con el hueso frontal; la cigomática prolonga el ángulo lateral del cuerpo hasta unirse con el hueso malar; la palatina que se articula con la del lado opuesto para conformar la parte principal de la bóveda palatina; y finalmente la prolongación alveolar, que se dirige hacia abajo y alberga las raíces de los dientes superiores ⁽⁴⁵⁾ (Figura 2).

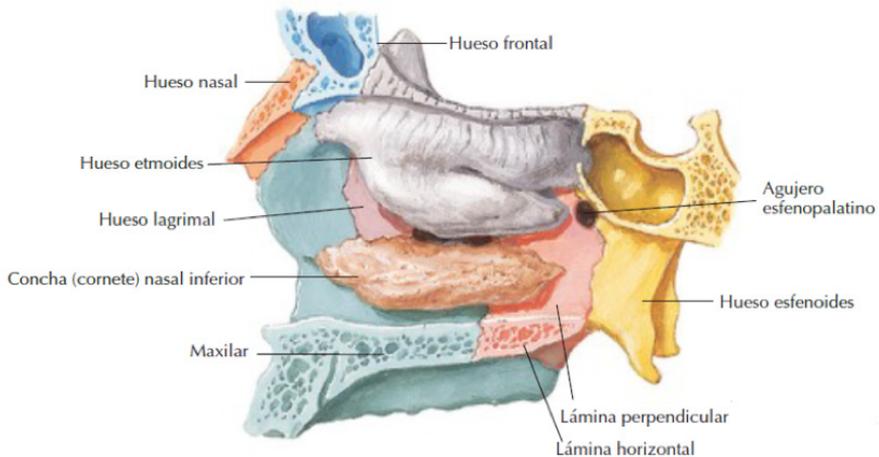


Figura 2. Visión sagital de huesos que integran el complejo craneofacial (Tomado de: Norton NS. Netter. Anatomía de cabeza y cuello para odontólogos. Barcelona: Elsevier Masson; 2007)

Las apófisis palatinas de cada maxilar se unen en la línea media a través de la sutura intermaxilar o sutura palatina media (MPS), formando los dos tercios anteriores del paladar duro (bóveda palatina). El paladar óseo está formado anteriormente por las apófisis palatinas de ambos huesos maxilares y posteriormente por las láminas horizontales de cada hueso palatino ⁽⁴⁶⁾.

El hueso palatino es un hueso par y simétrico, situado por detrás del maxilar superior. Tiene forma de L y está formado por una lámina horizontal, que constituye la parte posterior del paladar óseo; una lámina perpendicular (vertical) que se une a la precedente en ángulo recto y tres apófisis (orbitaria, esfenoidal y piramidal).

Cada hueso palatino se articula con el contralateral, el maxilar superior, el esfenoides, el etmoides, el cornete inferior y el vómer; y contribuye a formar la bóveda palatina, la cavidad nasal, la órbita y la fosa pterigopalatina ⁽⁴⁷⁾.

Los huesos maxilares y los huesos palatinos se articulan por medio de la sutura palato-maxilar (sutura palatina transversa) y las láminas horizontales de cada hueso palatino se unen en la línea media por la sutura-interpalatina.-

El maxilar se une posteriormente al hueso esfenoides a través del hueso palatino, por lo que la sutura pterigopalatina tiene una gran importancia en la resistencia que ofrece el sistema circunmaxilar a la disyunción maxilar ⁽⁴⁸⁻⁵¹⁾ (Figura 3).

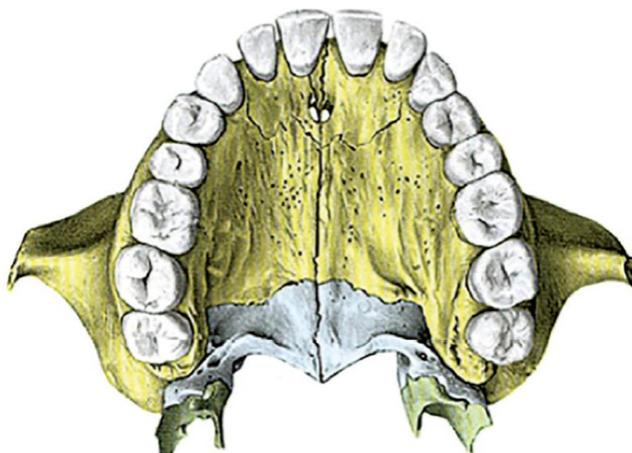


Figura 3. Vista Oclusal del maxilar. Imagen tomada de: Suzuki H, Moon W, Previdente LH, Suzuki SS, Garcez AS, Consolaro A. Miniscrew-assisted rapid palatal expander (MARPE): The quest for pure orthopedic movement. *Dental Press J Orthod.* 2016;21(4):17-23.

Cambios producidos durante la disyunción

Durante la disyunción, se produce la separación y división del maxilar, abriendo la sutura palatina media de forma pendular en el sentido horizontal⁽⁵²⁾.

La sutura presenta mayor separación en la región de la espina nasal anterior en comparación con la región de la espina nasal posterior, debido a los pilares posteriores de sujeción del maxilar en la base del cráneo como, los procesos pterigoideos del esfenoides. Sin embargo, la espina nasal posterior también sufre el impacto de la ERM^(25,53); la sutura palatina media también se abre en su extremo más posterior, contiguo a los procesos pterigoideos.

En la mayor parte de los pacientes, la sutura palatina se abre de forma piramidal, aunque en algunos casos esa separación fue de forma paralela; como se está estudiando recientemente en pacientes tratados con MARPE, aun siendo adultos⁽⁵⁴⁻⁵⁶⁾.

El distanciamiento de los procesos maxilares provoca el descenso del maxilar, con el posible avance en sentido anterior⁽⁸⁾, originando en el plano sagital la rotación horaria de la mandíbula. Sin embargo, este comportamiento del maxilar en sentido sagital es reversible, sin influir en el patrón de crecimiento (Figura 4).

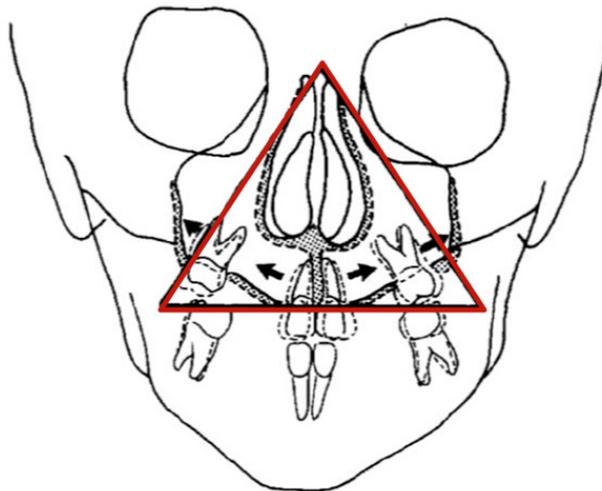


Figura 4. Efectos esqueléticos y dentarios de la expansión maxilar (Tomado de Bell R. A Review of Maxillary Expansion in Relation to Rate of Expansion and Patient's Age. Am J Orthod 1982; 81 (1): 32-37.

Algunos estudios se han centrado en si la sutura pterigopalatina se puede separar o no^(23,57) y han analizado los cambios de inclinación en los procesos pterigoideos del esfenoides e ilustrado la posible flexión de estos durante la expansión maxilar^(26,48-51,58,59).

La razón por la cual el maxilar se mueve hacia adelante durante la expansión del maxilar aún no está clara, sin embargo, Garib⁽⁶⁰⁾ y Jafari⁽⁴⁸⁾ sugieren que el posible efecto restrictivo de la sutura pterigopalatina a las fuerzas y el efecto del hueso cigomático podrían ser la explicación del movimiento hacia adelante del complejo nasomaxilar. Gardner⁽⁵²⁾ cree que el movimiento hacia adelante y hacia abajo del maxilar durante la ERM se correlaciona con la apertura de la sincondrosis esfeno-occipital (SOS), lo que sugiere que la SOS podría sufrir una remodelación ósea en respuesta al tratamiento con ERM.

Por otro lado, el movimiento hacia adelante del maxilar puede deberse simplemente a la desarticulación en las suturas ubicadas posteriores al maxilar, especialmente en la región pterigomaxilar.

En la literatura, todavía se debate dónde se ubica el fulcro rotacional del maxilar. La mayoría de los estudios de FEM afirman que el punto de apoyo se encuentra en la sutura frontomaxilar^(23,48,51), por lo que el maxilar gira hacia afuera junto con el hueso cigomático, y el centro de rotación del complejo cigomato-maxilar se encuentra cerca de la sutura fronto-cigomática.

Anatomía radiológica

La sutura palatina media, en la radiografía oclusal del maxilar, corresponde a una franja estrecha y radiolúcida, en el centro del maxilar y delimitada por márgenes óseos radiopacos bien definidos⁽⁶¹⁾.

La radiografía oclusal del maxilar se emplea frecuentemente en ortodoncia en el diagnóstico del comportamiento de la sutura palatina media, su osificación y sobre todo, para evaluar la organización gradual después del tratamiento de expansión rápida maxilar^(62,63).

Sin embargo, el control de la osificación de la sutura con la radiografía oclusal no alcanza la región más posterior; existe un límite impuesto por las estructuras de la cavidad bucal para la colocación de la radiografía que no permite la visualización de la sutura en toda su extensión. Además, la sobreposición de estructuras (especialmente del vómer y del hueso frontal) y el carácter bidimensional comprometen la evaluación de la MPS en toda su extensión^(25,64,65) (Figura 5).



Figura 5. Radiografía oclusal del maxilar superior donde se puede apreciar la sobreposición de estructuras anatómicas.

En los exámenes radiológicos mediante CBCT (Cone Beam Computed Tomography, por sus siglas en inglés), la interpretación visual es semejante a la de la imagen radiográfica; las imágenes claras (radiopacas) corresponden a las áreas que absorben o atenúan los rayos X, mientras que las áreas oscuras (radiolúcidas) son las áreas que no interceptan los rayos X.

La figura 6 ilustra las estructuras anatómicas expuestas en la tomografía computarizada del maxilar en un corte a la altura de la sutura palatina media. Las estructuras se diferencian mejor por la ausencia de superposiciones.

Se puede visualizar todo el maxilar, las láminas horizontales de los huesos palatinos hasta la apófisis pterigoides del hueso esfenoides. Además, permite la

visualización de la sutura palatina media en toda su extensión, desde la espina nasal anterior hasta el límite posterior del paladar óseo (Figura 6).

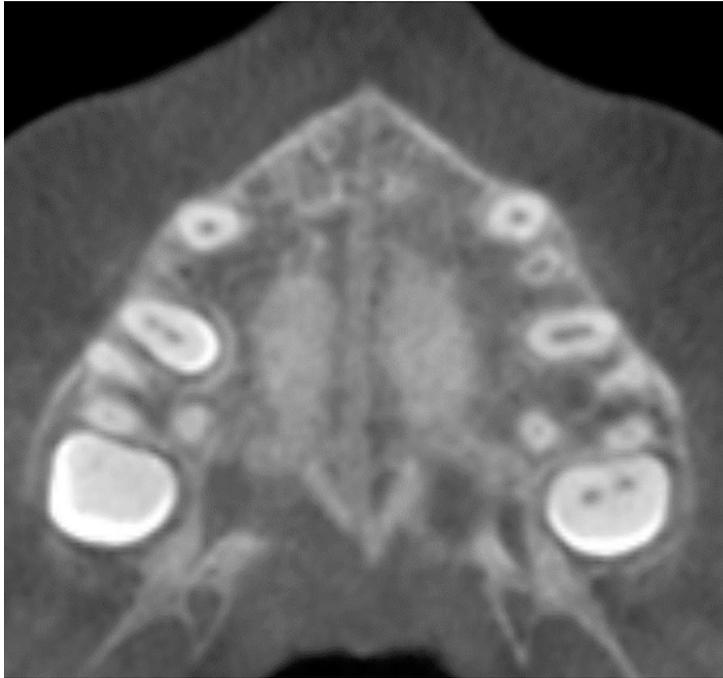


Figura 6. Corte axial del maxilar a nivel de la sutura palatina media.

Crecimiento transversal del maxilar

Las fases de crecimiento relevantes en los sujetos tratados con ortodoncia son las circunferenciales, como las fases de crecimiento pre-puberal, puberal y post-puberal ^(36,66) cada una de las cuales se caracteriza por un crecimiento diferencial de los huesos maxilar y mandibular^(15,66).

El crecimiento transversal normalmente se completa antes del crecimiento sagital y vertical⁽⁶⁷⁾. A partir de los 15 años de edad, el crecimiento de la dimensión transversal disminuye hasta considerarse casi completo^(68,69).

La sutura palatina media se ha descrito como un tipo de sutura con cambios característicos en su morfología durante el crecimiento. Melsen⁽¹⁵⁾ identificó tres etapas que indican que a medida que un individuo crece, la anchura de la sutura

disminuye y comienza a mostrar un aumento en la interdigitación hasta llegar a fusionarse, teniendo una progresión de posterior a anterior.

La sutura palatina media tiene una actividad osteógena hasta alrededor de los 18 años y la calcificación se extiende hasta los 30 aproximadamente; con un pico importante en la edad prepuberal. Casi todos los autores coinciden en que esta sutura comienza a osificarse hacia los 14-16 años y culmina no antes de la tercera década de la vida.

El maxilar superior crece a través de la sutura palatina media y el crecimiento sutural se detiene antes que el crecimiento condilar y el crecimiento en altura del individuo (importante a la hora de ver la maduración esquelética de nuestros pacientes) (Figura 7). La MPS crece 1 mm por año hasta los 5 años, después de ese período crece 0,25 mm por año hasta terminar la pubertad. El crecimiento restante es de 1,5 mm⁽¹⁶⁾.

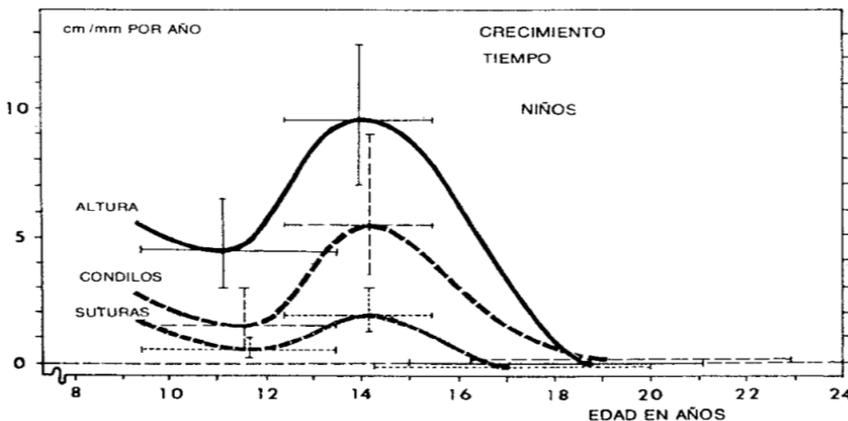


Figura 7. Crecimiento facial y esquelético según Björk, donde los mayores cambios de crecimiento a nivel condilar coinciden con los mayores aumentos a nivel sutural y esquelético. (Tomado de: Orellana M, Marengo CH, Soldevilla G, Orellana. Estudio de la maduración ósea en pacientes niños de la clínica odontológica de la UNMSM. Odontol Sanmarquina. 2014;14;9(2):25).

Osificación de la Sutura Palatina Media

Comprender el proceso de maduración de la sutura palatina media (MPSM) y su variabilidad individual en el tiempo, es esencial para predecir la respuesta a la expansión maxilar, especialmente en adolescentes tardíos y adultos jóvenes.

Es necesario distinguir dos momentos: la edad en la que aparece el primer signo de osificación (indica el fin del crecimiento sutural); y la edad en la cual, debido al progreso de la osificación resulta imposible cualquier acción ortopédica (la cual se inicia primero en la zona posterior y avanza hasta la región anterior).

La maduración y morfología de la sutura palatina media (MPS) se ha estudiado a lo largo de los años utilizando como base:

- Métodos histológicos^{15,16,29,30,64}.
- Radiografías oclusales⁽⁶³⁾.
- Radiografías frontales^(68,70).
- Gammagrafías⁽⁷¹⁾.
- Tomografías microcomputerizadas en autopsias humanas⁽²⁸⁾.
- Tomografías computerizadas en animales^(27,72).
- Tomografía computarizada de haz cónico (CBCT)⁽⁷³⁾.

En 1975, Melsen⁽¹⁵⁾ realizó un estudio histológico con muestras de 60 cadáveres de personas menores de 18 años (33 chicos y 27 chicas) en el que observó que el crecimiento transversal de la sutura generalmente se completa alrededor de los 16 años en el caso de las mujeres y de los 18 años en los hombres.

En dicha investigación describió el proceso de fusión de la sutura en tres etapas. En la primera etapa o período infantil, la sutura es ancha y tiene forma de "Y"; en la segunda, que corresponde al período juvenil, comienzan a formarse espículas óseas en ambos márgenes de la sutura, lo que provoca una apariencia más sinuosa; y en la tercera etapa, durante el período de la adolescencia, las espículas óseas se vuelven cada vez más interdigitadas, dando a la sutura una apariencia entrelazada o "cerrada" que haría que una separación de las dos mitades del maxilar no fuera posible sin fracturar los procesos interdigitados (Figura 8).

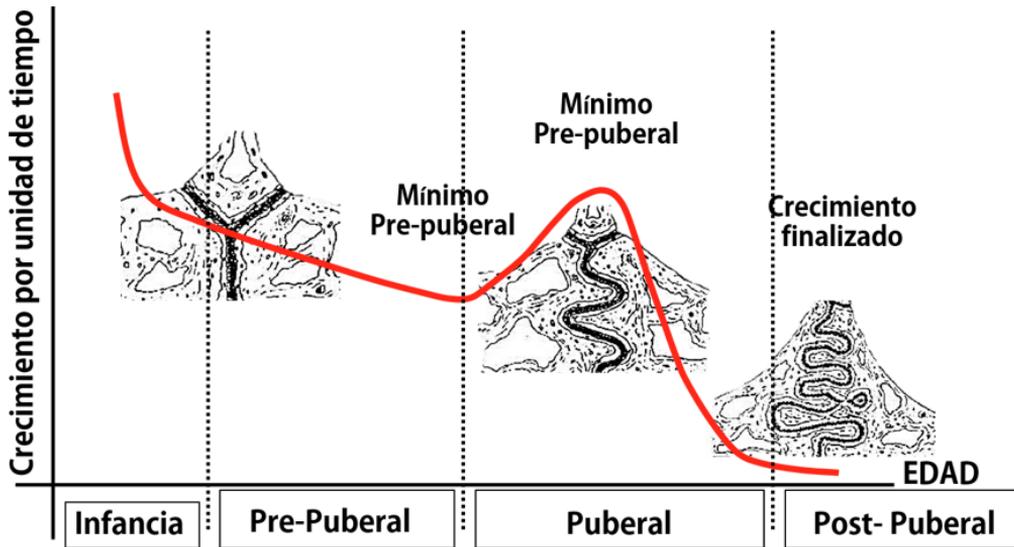


Figura 8. Clasificación de las etapas de crecimiento y su relación con la maduración de la sutura palatina media establecida por Melsen⁽¹⁵⁾.

Persson y Thilander (1977)⁽¹⁶⁾ realizaron un estudio histológico observando el proceso de osificación de la sutura en personas de entre 15 y 35 años. En el mismo, demostraron que durante la etapa juvenil podía observarse obliteración sutural. El proceso de fusión comenzaba en la porción posterior de la sutura y progresaba a la porción anterior, aunque raramente se encontraba un cierre marcado antes de la tercera década de la vida.

Además, había gran variabilidad entre los individuos con respecto al inicio de la fusión, así como de su avance con la edad. También existía variación en el tiempo de obliteración entre diferentes áreas de la misma sutura⁽²⁸⁾.

La evaluación a través de radiografías oclusales, fue propuesta originalmente por Relevo y Fishman en 1994⁽⁶³⁾ que expusieron que al final de la adolescencia sólo se encuentra osificada, aproximadamente, el 50% de la longitud total de la sutura. Sin embargo, Wherbein y Yildizhan publicaron un estudio en 2001 realizado con 10 personas entre 18 y 38 años en el que analizaron 3 áreas radiológicas de cada sutura (anterior, central y posterior). Las clasificaron como sutura visible o no visible y compararon con muestras histológicas. Demostraron que las radiografías oclusales no muestran la realidad del grado de fusión en que

se encuentra la sutura, sino que depende del trayecto de la sutura en relación con el haz de los rayos X. El estudio expone que a menudo la imagen radiográfica muestra una sutura aparentemente osificada, pero que tras realizar el estudio histológico, se demuestra que no equivale a una sutura fusionada⁽⁶⁴⁾.

En 2004, Knaup y cols.⁽²⁹⁾ presentaron un estudio para evaluar la anchura y grado de obliteración de la sutura; para ello tomaron 22 muestras histológicas de suturas maxilares de personas entre los 18 a 63 años y tomaron 3 secciones: anterior, central y posterior.

Dividieron los pacientes en dos grupos: menores y mayores de 25 años. La proporción de tejido osificado en toda la sutura fue baja en todas las edades; la persona más joven con la sutura osificada tenía 21 años, mientras que, en contraste, se encontró también un hombre de 54 años que no presentaba osificación. No encontraron diferencias estadísticamente significativas entre las tres regiones analizadas, confirmando estos resultados que la osificación de la sutura palatina media no es una razón válida para el aumento de la resistencia transversal que se encuentra durante la ERM en menores de 25 años, así como en muchas personas mayores a dicha edad.

Korbmacher y cols.⁽²⁸⁾ presentaron un estudio en el que se utilizaron técnicas de micro-TC para cuantificar la morfología de la sutura e investigar su relación con la edad (se asignaron tres grupos: < 25 años, 25 años a < 30 años, ≥ 30 años). En dicho estudio, tras analizar 28 muestras de personas de 14 a 71 años, encontraron que la densidad ósea era mayor entre los 25 a 30 años (53,2%), disminuyendo en personas menores y mayores de este rango de edad. La media del índice de obliteración fue en general baja, aunque mostró una gran variabilidad interindividual y no se correlaciono con la edad cronológica.

Además, se observó que el grado de interdigitación fue independiente de la edad. En base a sus resultados, concluyeron que el parámetro que limita la realización de una ERM convencional, no era el aumento de la interdigitación de las suturas ni un índice de obliteración elevado, sino la densidad ósea sutural.

Para sortear las limitaciones asociadas con las radiografías convencionales, en 2013 Angelieri y cols.⁽⁷³⁾ apoyándose en estudios anteriores (utilizaron la clasificación histológica de Melsen (1975)⁽¹⁵⁾, Persson y cols.(1978)⁽³⁰⁾ y Cohen (1993)⁽⁷⁴⁾) propusieron un sistema de clasificación con cinco etapas A, B, C, D y E (las etapas se describen en la sección de metodología de esta tesis) basadas en los cambios morfológicos sufridos por la sutura palatina media, observados mediante CBCT (Figura 9).

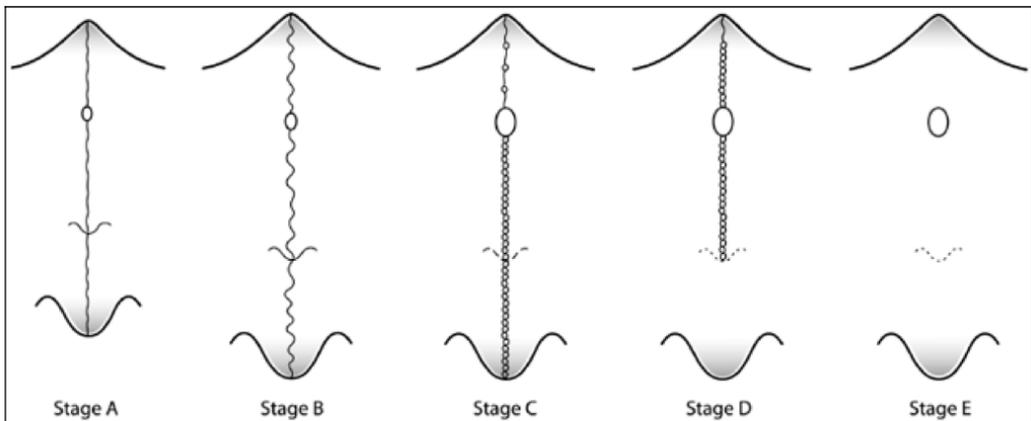


Figura 9. Clasificación de Angelieri y cols.⁽⁷³⁾ de las etapas de maduración de la sutura palatina media según sus cambios morfológicos analizados con CBCT.

La ventaja del CBCT es que permite estudiar estructuras óseas en detalle y en las tres dimensiones del espacio, complementando nuestro conocimiento sobre ellas y evitando la superposición de estructuras adyacentes. Establecieron las etapas en función de si se podía visualizar la sutura a lo largo del hueso maxilar y palatino; y en caso afirmativo si se distinguía una única línea (festoneada o no) o dos líneas de alta densidad a lo largo de la sutura.

Las etapas A y B son indicativas de una sutura inmadura sin osificación, mientras que la etapa C se refiere a la osificación inminente de la sutura. Cuando se observa la etapa D, la osificación de la sutura se ha producido en el hueso palatino mientras en la E, también se ha fusionado el hueso maxilar, siendo la densidad igual que en otras regiones del paladar.

Además de establecer dicha clasificación, analizaron la distribución de las etapas en distintas cohortes de edad con 140 CBCT de pacientes (entre 5.6 a 58.4

años). Encontraron una amplia variabilidad en relación con la edad cronológica; las etapas A y B se observaron normalmente hasta los 13 años, mientras que la C se observó principalmente de los 11 a 17 años.

Principalmente entre los 11 y 18 años, todas las etapas estaban presentes. Sin embargo, en niñas hasta los 11 años y en niños hasta los 14 se encontró la sutura en etapas A, B o C. La fusión de la región palatina (etapa D) y maxilar (etapa E) se completó después de los 11 años, sólo en las niñas. De los 14 a 17 años, el 23% de los varones mostraron una etapa D. También se encontró variabilidad en los adultos de 18 a 58 años, que frecuentemente mostraban la MPS fusionada (31,2% etapa D y 53,1% etapa E), pero que un 12,5% presentaban una etapa C y un 3,1% una etapa B.

Además, según esta clasificación⁽⁷³⁾, los autores sugieren que las etapas A y B son el momento ideal para realizar la ERM, siendo la etapa C el momento en que comienza la fusión y aumenta la interdigitación. De modo que, durante las etapas D y E, recomiendan la corrección transversal con SARME, debido al aumento de la resistencia a medida que la sutura se fusiona parcial o totalmente.

En base a la clasificación anterior, Tonello y cols. (2017)⁽⁷⁵⁾ realizaron un estudio tomográfico para identificar el estado de maduración de MPS en niños de 11 a 15 años, con el fin de utilizarla como una comparación para el pronóstico de la ERM en pacientes mayores. Tras clasificar los 84 CBCT de 40 niños y 44 niñas, concluyeron que la etapa predominante en este rango de edad fue la C, siendo la más prevalente en todas las edades evaluadas y sugieren un pronóstico satisfactorio con la ERM convencional (no quirúrgica). Los grupos de edad más jóvenes mostraron una mayor prevalencia de las etapas A, B y C. La etapa B estuvo presente en todas las edades, pero fue más frecuente en los menores de 13 años. La prevalencia de las etapas D y E fueron bajas, aumentando con la edad (según se detectó a los 14 y 15 años).

En cuanto a la distribución entre los sexos, hubo mayores prevalencias de las primeras etapas de maduración en los hombres; de modo que las etapas C, D y E fueron más frecuentes en mujeres (77,2%) en comparación con los hombres

(70,0%). Esto fue seguido por la etapa B que mostró una prevalencia de 20,5% en mujeres y 30,0% en hombres. La prevalencia de las etapas D y E en mujeres fue de 13,6% y 6,8% respectivamente; mientras que en hombres fueron del 12,5% y el 15%, respectivamente. La etapa A mostró la prevalencia más baja (2,3%), observándola sólo en mujeres.

En cambio, el grupo de investigadores de la Universidad de Alberta en 2017 estudiaron dicha clasificación encontrando que no posee una fiabilidad y reproducibilidad suficiente como para poder ser validada; por lo que podría usarse en investigación, pero no tanto en la práctica clínica⁽⁷⁶⁾. Sin embargo, actualmente otros autores, si la consideran válida, aunque dependiendo de otros factores como pueden ser la calidad de la imagen o el entrenamiento del evaluador que realiza la clasificación^(77,78).

Se sigue planteando la cuestión de si en adultos jóvenes y adolescentes tardíos se abrirá la sutura palatina media. Sin embargo, fundamentalmente lo que interesa conocer, es dónde está el límite a la hora de plantear el tratamiento; entre ERM y SARME. Por ello, en el 2017, se realizó un estudio ⁽⁷⁹⁾ en un grupo adulto (78 sujetos de entre 18 a 66 años, 64 mujeres y 14 hombres divididos en menores de 30 años y mayores de 30), llegando a la conclusión que el asesoramiento del MPSM con CBCT nos da una información útil a la hora de elegir entre ERM y SARPE.

Estos investigadores pudieron demostrar que la sutura no estaba fusionada en un 12% de los pacientes adultos. Sus resultados también validaron estudios anteriores en los que no se encontró fusión de MPS en personas de 27, 32, 54 e incluso 71 años ^(16,28,29).

En 2018, la investigación de Ladewig y cols.⁽⁸⁰⁾ tuvo como objetivo principal evaluar basándose en su morfología, las etapas de MPSM en individuos post-adolescentes (en los cuales la ERM se considera cuestionable). La muestra consistió en 112 CBCT de pacientes de entre 16 a 20 años (68 mujeres y 44 hombres) y al igual que en los estudios de Angelieri y cols. (2013)⁽⁷³⁾ y Tonello (2017)⁽⁷⁵⁾, se observaron todas las etapas de maduración. La etapa C fue la más

prevalente (44,6%), seguida de las etapas E (24,1%) y D (23,2%). Sin embargo, las mujeres mostraron mayor prevalencia en las etapas D y E (53,0%), en comparación con los hombres (38,6%). A la vista de sus resultados, concluyeron que la mayor prevalencia de la etapa C (52,3% en hombres y 39,7% en mujeres) puede justificar un estudio clínico para confirmar un buen pronóstico para la expansión rápida del maxilar en individuos postadolescentes.

Aunque el grado de osificación de la sutura palatina media tiende a aumentar con la edad, los estudios expuestos anteriormente muestran la gran variabilidad que podemos encontrar con respecto a la edad en la que finaliza su osificación.

En general, se puede afirmar que el cierre de la sutura comienza a ser más patente a lo largo de la segunda década de la vida y que, con frecuencia, continúa durante la tercera década. El proceso de osificación se inicia con la aparición de espículas óseas en los márgenes de la sutura rodeados de masas de tejido acelular y tejido pobremente calcificado ^(16,28,30). Dichas espículas óseas aumentan en número y se interdigitan empezando por la zona posterior y progresando hacia la anterior hasta que se produce la osificación completa de la sutura ^(16,29,73).

En ocasiones, se han encontrado suturas no osificadas más allá de la tercera década. Por tanto, para una mejor valoración de la MPS, se han desarrollado diversos métodos de evaluación, teniendo cada uno de ellos limitaciones inherentes.

Buscando otro método para evaluar la maduración de MPS, Kwak y cols. ⁽⁸¹⁾ probaron que el análisis fractal era un método cuantitativo objetivo y que podría ser útil para la evaluación de la MPSM. Analizaron 131 CBCT de personas mayores de 18 años y hallaron una fuerte correlación negativa entre la dimensión fractal y la maduración de MPS.

Los estudios con CBCT también han sido empleados para establecer la maduración de la sutura palatina media a través de la evaluación de su densidad ósea ^(82,83).

Grünheid y cols.⁽⁸³⁾ propusieron el índice de densidad de la sutura palatina como una nueva medida de la madurez de MPS, encontrando que tiene potencial de convertirse en un predictor clínico útil de la respuesta esquelética a la ERM. No obstante, aún debe validarse en un ensayo prospectivo con un diseño más estandarizado como reconocieron posteriormente los investigadores⁽⁸⁴⁾.

En 2018, Samra y cols.⁽⁸²⁾ evaluaron 91 CBCT de personas entre 8 a 18 años para comprobar si existía relación entre las etapas de MPSM según su morfología⁽⁷³⁾ y sus densidades óseas. La densidad ósea se midió en la región palatina y la maxilar de la sutura, y encontraron un aumento significativo después de la pubertad; que fue significativamente mayor en la región palatina en la etapa E y en la región maxilar en las etapas D y E. Por tanto, concluyen que el cambio en la densidad ósea de la sutura entre las diferentes etapas de maduración apoya su confiabilidad para la aplicación clínica.

Las densidades de sutura aumentan con el avance de la maduración esquelética en todas las regiones, por lo que este aumento significativo después de la pubertad podría jugar un papel clave en la disminución de los efectos esqueléticos de la ERM después de esa edad. Por ello, sería importante evaluar la densidad de la sutura palatina para elegir entre ERM y SARME⁽⁸⁵⁾.

Recientemente, y acorde a los resultados de Samra y cols. (2018)⁽⁸²⁾; Betlej y cols.⁽⁸⁶⁾ realizaron una investigación similar pero aumentado la muestra a 221 personas y centrándose en los adolescentes y adultos jóvenes. Concluyeron que la clasificación de la MPS basada en sus cambios morfológicos es un predictor confiable para la planificación del tratamiento de ortodoncia.

La densidad de MPS fue significativamente mayor en las mujeres en comparación con los hombres. De manera similar, los individuos que habían finalizado su crecimiento tenían una densidad de MPS en la región anterior y posterior significativamente más alta en comparación con los individuos en crecimiento.

Madurez Esquelética

Definición

La maduración esquelética se refiere al grado de desarrollo de la osificación de los huesos. Determinar la maduración y evaluar del potencial de crecimiento es muy importante sobre todo durante la preadolescencia o adolescencia, ya que cada persona tiene su propio “reloj biológico” y el momento en que se producen dichos cambios varía.

Debido a que existe gran variabilidad individual en el tiempo, duración y velocidad de crecimiento, la estimación de la edad ósea constituye un indicador eficaz para el diagnóstico y posterior elaboración del plan de tratamiento de ortodoncia^(87,88) (por ejemplo, para planificar el momento adecuado para la ERM, protracción del maxilar con máscara facial o tratamientos con aparatología funcional) y cirugía (por ejemplo, en la planificación del tratamiento con cirugía ortognática o la rehabilitación protética con implantes).

Métodos para determinar la Maduración Ósea

Para la evaluación de la edad biológica e identificar las etapas de crecimiento, los medios empleados habitualmente son la evaluación clínica basada en varios indicadores secundarios (maduración sexual, registros longitudinales de la altura corporal y el peso⁽⁶⁶⁾, menarquia en niñas o cambio de voz en niños) y la evaluación en radiografías (frecuentemente, en radiografías de mano y muñeca (HWR)⁽⁸⁹⁻⁹¹⁾ o de las vértebras cervicales en una telerradiografía lateral (CVM)^(36,87,92-95)) para estimar el estadio de maduración ósea de un paciente con una precisión relativamente alta⁽⁹⁶⁾. También se han descrito la maduración y estadiificación del desarrollo dental para evaluar la madurez esquelética^(97,98).

Durante el crecimiento, cada hueso pasa por una serie de cambios que se pueden ver radiológicamente. La secuencia de estos cambios es relativamente constante para un hueso determinado en cada persona, y en general son lo suficientemente reproducibles para permitir la comparación entre diferentes personas.

Las estructuras anatómicas utilizadas más a menudo para evaluar la madurez esquelética son los huesos de la mano y la muñeca⁽⁸⁹⁾ y las vértebras cervicales^(99,100).

El HWM y el CVM son los métodos radiográficos que se emplean con más frecuencia en ortodoncia para determinar la edad esquelética⁽⁹⁷⁾. Aunque ambos fueron desarrollados para predecir el momento del crecimiento y no para cuantificar directamente la madurez esquelética⁽⁹³⁾.

Método radiografía de mano y muñeca (HWM)

De todos los métodos, la maduración esquelética evaluada con una radiografía de mano y muñeca se considera el *gold standard* para fines ortopédicos^(90,101). Su alta confiabilidad se debe al hecho de presentar gran cantidad de huesos, pudiendo obtener una correlación precisa de sus etapas de osificación con el crecimiento general^(102,103).

El HWM utiliza indicadores específicos de madurez esquelética (SMI) para relacionar la maduración esquelética con el pico de máximo crecimiento puberal⁽⁸⁹⁾. Algunos indicadores son la osificación del hueso sesamoideo, el estado de calcificación del hueso ganchoso y la estadificación de la falange media del tercer dedo⁽⁹¹⁾. Se ha demostrado que la evaluación de la madurez esquelética basada en HWM se correlaciona con el crecimiento facial vertical y horizontal, así como con el crecimiento maxilar y mandibular⁽⁹¹⁾. Sin embargo, implica la toma de una radiografía adicional⁽⁹¹⁾.

Método de maduración de las vértebras cervicales (CVM)

La tendencia a reducir el número de radiografías a las mínimas necesarias hizo que varios investigadores, hayan desarrollado otros índices de maduración esquelética, como los basados en los cambios morfológicos de los cuerpos de las vértebras cervicales y que suelen aparecer en la telerradiografía lateral de cráneo; normalmente usada en ortodoncia para el diagnóstico del crecimiento craneofacial, eliminando así la necesidad de una radiografía adicional^(36,95).

Las etapas de CVM se definieron en 2005 según Baccetti y cols.⁽³⁶⁾ teniendo en cuenta solo los cuerpos vertebrales C2 a C4. Establecieron 6 etapas (CS1- 6) en función de las modificaciones de la forma de estas vértebras. Además, se encontró que CS1 y CS2 se alcanzan típicamente antes del brote de crecimiento puberal; CS3 y CS4 coinciden con el brote de crecimiento puberal (CS3 con su inicio y CS4 justo después) y con CS5 y CS6 ocurriendo después del pico de máximo crecimiento (Figura 10).

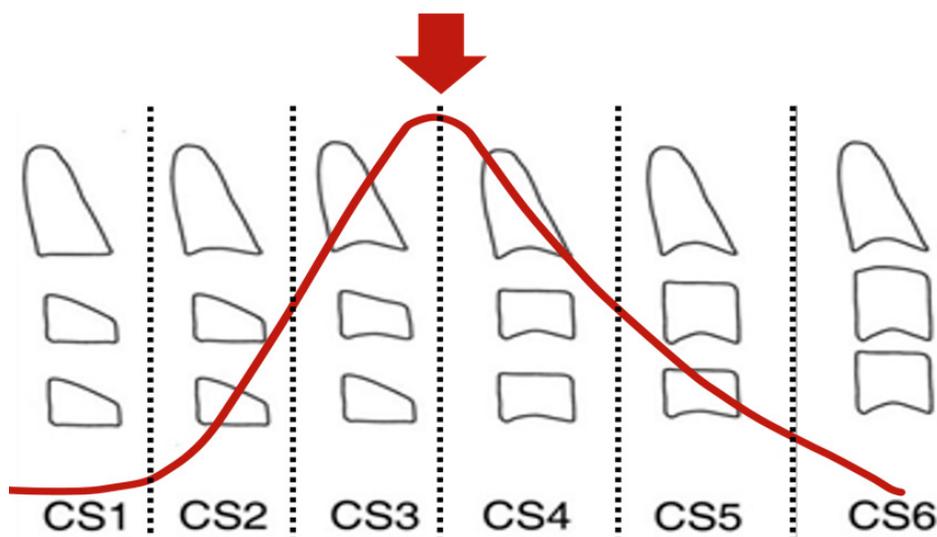


Figura 10. Clasificación de la maduración de las vértebras cervicales (CVM) adaptada por Baccetti y cols.⁽³⁶⁾. (A) CS1 a CS3 corresponden a las etapas pre-puberales, (B) CS4 a CS6 a las etapas post-puberales.

Se ha recomendado el método CVM para evaluar el momento óptimo para el tratamiento de las maloclusiones en los tres planos del espacio; transversal, sagital y vertical⁽³⁶⁾.

Lamparsky⁽⁹⁵⁾ demostró ya en 1975, que también podían usarse para evaluar la madurez esquelética los cambios morfológicos de las vértebras cervicales. Muchos autores, confirmaron posteriormente la correlación entre la maduración de los huesos de la mano y la muñeca y las vértebras cervicales, así como una correlación entre las vértebras cervicales y el crecimiento facial⁽⁹¹⁾.

Recientemente, la maduración de la falange media del tercer dedo (MPM) se ha propuesto como un indicador válido de la aceleración del crecimiento puberal

y tanto el método MPM como el CVM han mostrado un acuerdo diagnóstico satisfactorio en general, aunque con un ligero desacuerdo en el estadio 5, en el que la tercera falange media parece madurar antes que las vértebras cervicales^(104,105).

Relación con la maduración de la sutura palatina media

Revelo y Fishman (1994) demostraron que existe una correlación positiva entre el SMI y la fusión de la sutura palatina media determinada en las radiografías oclusales. En la adolescencia, a medida que avanza la madurez esquelética, ambos sexos mostraron evidencia de fusión de la sutura palatina. Sin embargo, sólo el 50% de la sutura estaba osificada al final de la pubertad, coincidente con SMI11; aunque no se ha probado la utilidad clínica de esta relación⁽⁶³⁾.

El mismo grupo de investigadores que estableció la clasificación de MPSM usando el CBCT⁽⁷³⁾, Angelieri y cols. (2015) bajo la misma muestra; correlacionaron las etapas de maduración de la MPS con otro indicador de crecimiento, en este caso, las etapas de maduración de las vértebras cervicales (CVM).

Encontraron que existía una correlación entre las etapas pre-puberales de la sutura (A, B y C) con los de las vértebras (CS1, CS2 y CS3); siendo a partir de CS4 en adelante cuando la correlación no fue tan clara (hubo una asociación moderada para la etapa C y baja para las etapas D y E). Concluyen que la mayoría de las etapas CVM pueden ser utilizadas para el diagnóstico de las etapas de maduración de MPS, de manera que no sea necesario en estos pacientes realizar el CBCT. Sin embargo, podría estar indicada la evaluación de MPSM con CBCT en el período post-puberal⁽¹⁰⁶⁾.

Basándose en la premisa de que el crecimiento esquelético y sus períodos de aceleración y desaceleración no están directamente correlacionados con edad cronológica; y para validar la clasificación de MPSM⁽⁷³⁾ Jang y cols. (2016) la compararon en 99 personas con otros índices de maduración (HWM, CVM y edad dental usando el índice de Hellman). Aunque Mellion y cols. (2013) informaron que SMI y CVM no proporcionan ninguna ventaja tangible en relación con la edad cronológica al evaluar o predecir el momento de crecimiento⁽¹⁰⁷⁾. Este es-

tudio mostró fuertes correlaciones entre HWM, CVM y MPSM y correlaciones relativamente débiles entre sexo, edad cronológica y MPSM. Según el HWM, las etapas D y E de MPSM no se observaron antes de SMI 6 en ambos sexos y la etapa E era visible en SMI10 u 11⁽¹⁰⁸⁾.

Grünheid y cols. en su estudio de 2017, registraron de 30 pacientes el índice de densidad de la sutura, la maduración de las vértebras cervicales y su etapa de MPSM antes del tratamiento con ERM; y posteriormente midieron las proporciones de expansión logradas. Encontraron que a diferencia del índice de densidad de MPS; la edad cronológica, la maduración de las vértebras cervicales y la etapa de MPSM no fueron predictores potenciales de la respuesta esquelética a la ERM⁽⁸³⁾.

Evaluación de la Sincondrosis Esfeno-occipital (SOS)

Definición

La base craneal (BC) influye como un “carril de guía” en el desarrollo del complejo máxilo-mandibular, por lo que adquiere importancia su estudio en ortodoncia⁽¹⁰⁹⁾.

El crecimiento de la base del cráneo continúa hasta la adolescencia, especialmente en el área de la sincondrosis esfeno-occipital (SOS)⁽¹³⁾. Esta sincondrosis está compuesta por cartílago hialino, que es abundante durante la fase de crecimiento de la BC y luego se osifica con la madurez esquelética⁽¹¹⁰⁾.

La SOS se encuentra entre la porción basilar del hueso occipital y el hueso esfenoides y actúa como un centro de crecimiento cartilaginoso entre estos dos huesos no móviles, permitiendo que la zona crezca hasta que se mineraliza el cartílago. Por ello, esta sincondrosis es un componente importante en el crecimiento de la base del cráneo y también influye en el desarrollo de la mandíbula y el maxilar^(40,41,111,112). Además, tiene una estrecha relación con el patrón esquelético facial y se ha encontrado una fuerte correlación entre el cierre prematuro de la SOS y la hipoplasia del tercio medio facial⁽¹¹³⁾.

Fusión de la SOS con el crecimiento

Ha recibido mayor atención por ser visible en las telerradiografías laterales, además de presentar una osificación tardía⁽¹¹⁴⁾ a diferencia del resto de sincondrosis (la sincondrosis interesfenoidal se osifica después del nacimiento, y la sincondrosis etmoidal generalmente se osifica a los 7 años^(115,116)).

El momento de la fusión de la sincondrosis esfeno-occipital (SOS) se correlaciona con la edad, por lo que el desarrollo de esta articulación tiene implicaciones potenciales para la evaluación de los pacientes en ortodoncia⁽¹¹⁷⁾.

El inicio de la fusión de esta sincondrosis está relacionado con el inicio de la pubertad en adolescentes⁽¹¹⁸⁾, por ello algunos estudios sugieren que el grado de fusión de la SOS puede utilizarse para predecir la edad esquelética de una persona^(42,43,119–121).

La fusión de la sincondrosis esfeno-occipital suele comenzar unos 2 años antes en las mujeres que en los hombres^(42,122,123), de forma similar a lo observado durante el crecimiento general al comienzo de la pubertad⁽¹²⁴⁾; sin embargo, parece no haber diferencias significativas al final del proceso^(114,117).

Métodos de evaluación del grado de fusión de la SOS

El cierre de la SOS se ha estudiado morfológicamente, histológicamente, radiográficamente^(42,122,125–127) y mediante TC de alta resolución⁽¹²⁸⁾.

Scheuer y Black (2000) sugieren que la fusión está relacionada con los procesos de maduración asociados a la adolescencia; coincidiendo con los resultados de algunos estudios que encontraron la sincondrosis completamente osificada entre los 16 y 17 años en las niñas y aproximadamente 2 años después en los niños^(122,125). (Figura 11)

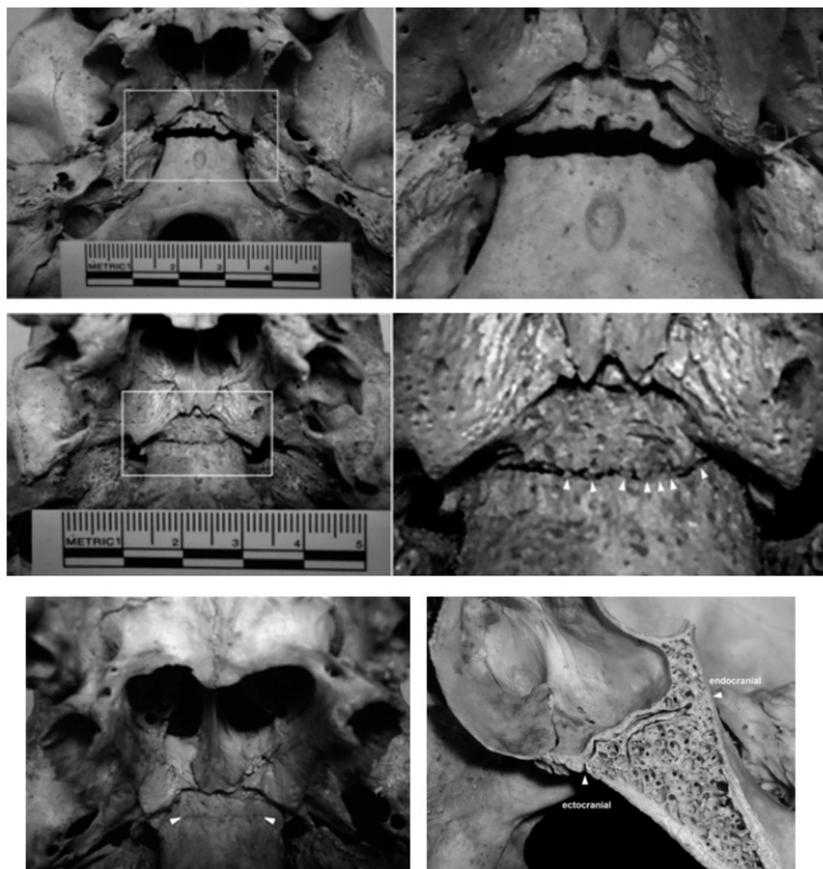


Figura 11. Secuencia de la osificación de la sincondrosis eseno-occipital tomadas del estudio de Shirley y Jantz⁽⁴²⁾. Representación esquemática del proceso de fusión: SOS abierta (primero), fusión parcial (segundo) y completa (tercero).

La etapa de maduración de un individuo puede estimarse analizando la fusión de la SOS; sin embargo, en las radiografías convencionales, por ejemplo, no es posible determinar cuándo comienza a cerrarse la sincondrosis o si se cierra totalmente debido a la superposición de estructuras adyacentes, que es una de las limitaciones inherentes de la imagen bidimensional. Por ello, la variabilidad en los tiempos de fusión encontrados en algunas investigaciones podrían estar sobreestimados⁽¹²⁹⁾.

Gracias al desarrollo de tecnologías como la tomografía computarizada de haz cónico (CBCT), se puede analizar en detalle estructuras anatómicas importantes que de otra manera no serían accesibles, como la sincondrosis eseno-

occipital; reduciendo la dosis de radiación en comparación con la tomografía computarizada convencional (TC)⁽¹³⁰⁾.

La fusión de la sincondrosis comienza en el borde superior y va progresando hacia abajo hasta completarse. Esta secuencia de fusión puede dividirse en etapas y correlacionarse con la edad. Recientemente, el proceso de fusión evaluado con CBCT se ha clasificado de acuerdo a un método de cuatro⁽¹³¹⁾ o cinco etapas⁽¹¹⁷⁾ en el plano sagital medio; o un método de seis etapas⁽¹²⁹⁾ cuando se evalúan los planos sagital y axial (Figura 12).

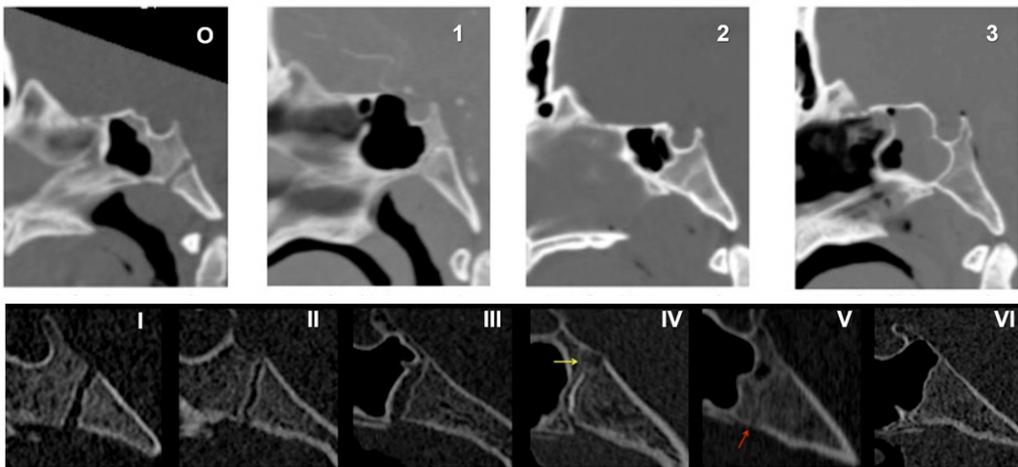


Figura 12. Imágenes sagitales de la clasificación de Franklin y Favel ⁽¹³¹⁾ (en la primera fila); y de la clasificación de Lottering y cols.⁽¹²⁹⁾ (en la segunda).

Para conocer los cambios que se producen con el crecimiento y remodelación de la SOS, Thilander e Ingervall (1973) estudiaron muestras postmortem de 53 hombres y 25 mujeres, de 2 días a 25 años con técnicas de microscopía óptica y microrradiografía.

Encontraron que la SOS se osificó por completo entre los 16 y los 17 años en las niñas y aproximadamente dos años después en los niños⁽¹²⁵⁾. Estos hallazgos coinciden con los de su estudio anterior⁽¹²²⁾, donde observaron que la fusión ocurre aproximadamente 2 años antes en las niñas que en los niños. El primer signo de fusión fue la aparición de un puente óseo en la parte superior, mostrándolo las mujeres mayores de 13 años y 9 meses y los niños a partir de los 16 años.

Relación con otros indicadores de la madurez esquelética

Shirley y Jantz evaluaron el grado de cierre de SOS en relación con la edad cronológica y encontraron que el inicio de la fusión se corresponde estrechamente con el inicio de la pubertad; así como también que la SOS se fusionaba principalmente a los 13,7 años en las mujeres y a los 17,4 años en los hombres⁽⁴²⁾. Estos datos son particularmente importantes, ya que estas edades corresponden con el final del período de crecimiento puberal.

Scheuer y Black⁽¹¹⁸⁾ sugirieron que el tiempo de fusión de la sincondrosis esfeno-occipital está relacionado con otros eventos de maduración significativos, coincidiendo específicamente con la finalización del desarrollo dental (alrededor de la erupción de los segundos molares).

En 2010, Bassed y cols.⁽¹¹⁷⁾ examinaron una muestra de 666 TC de 208 mujeres y 458 hombres con edades comprendidas entre los 15 a los 25 años. Sus resultados, aunque coinciden con estudios anteriores acerca del momento de fusión^(122,123,125); después de los 16 años no hallaron diferencias significativas en el progreso de la fusión entre hombres y mujeres.

Encontraron que la fusión de la SOS estaba bastante avanzada a los 15 años, tanto para hombres como para mujeres (aunque mayor en las mujeres) y que se completaba la fusión a los 17 años para ambos sexos. También describieron por primera vez, la presencia de una cicatriz en el sitio de fusión en muchas personas hasta los 25 años.

Sinanoglu y cols.⁽⁴³⁾ evaluaron la fiabilidad del análisis del cierre de la SOS con CBCT en la determinación de la edad. Realizaron un estudio en 238 pacientes de entre 7 y 25 años y clasificaron la maduración de la SOS en cuatro etapas; encontrando que la edad media para la fusión completa (etapa 3) fue a los 18 años en las mujeres y los 20 años en los hombres, lo que corresponde al final del período de crecimiento. Esta estimación también puede ser importante para decidir el tratamiento dental en ortodoncia y prostodoncia.

No obstante, la mayoría de las investigaciones se han centrado en la estimación de la edad de fusión de la SOS desde un punto de vista anatómico, pero apenas se ha examinado la relación entre el cierre de la SOS y los cambios en la pubertad. Esta relación podría ayudar a explicar parte de la variabilidad de la edad de cierre de la SOS entre diferentes poblaciones y estudios; permitiendo una mejor comprensión de la biología del desarrollo de la sincodrosis esfeno-occipital.

Alhazmi y cols. realizaron un estudio transversal longitudinal, evaluando 741 CBCT de 361 hombres y 380 mujeres de entre 6 y 20 años. Examinaron la correlación entre el cierre de la SOS y el inicio de la pubertad en las mujeres y calcularon la tasa de cierre de la SOS por año.

Sus resultados mostraron que existe una asociación significativa entre la etapa de cierre de la SOS y el comienzo de la menarquia, coincidiendo esto con Björk y Helm⁽⁶⁶⁾. Sugieren que el inicio de fusión de la SOS puede preceder a la menarquia y producirse al mismo tiempo que el máximo crecimiento puberal.

Además, el cierre de la SOS ocurre a un ritmo más rápido y a una edad más temprana en las mujeres en comparación con los hombres; aunque en estos dura más tiempo, oscilando entre el 22 y el 26% por año entre los 11 y los 14 años. Concluyen que existe una relación significativa entre la pubertad y el cierre de la SOS, lo que sugiere que su cierre está al menos parcialmente afectado en los adolescentes en crecimiento por los cambios hormonales sistémicos⁽¹³²⁾.

Demirturk Kocasarac y cols. en 2017, encontraron que existe una buena correlación durante la adolescencia entre la maduración de las vértebras cervicales y la fusión de la SOS⁽¹³³⁾.

Todo esto, incita a pensar que el cierre de la SOS puede ser un indicador del inicio de la pubertad y emplearse como indicador de la edad cronológica.

Recientemente, se ha investigado si existe una correlación positiva entre las etapas de maduración de MPS y ZMS con el grado de fusión de la SOS⁽¹²¹⁾. Se evaluaron las etapas de maduración de estas estructuras en pacientes de entre 7 y 30 años a partir de imágenes de TC; y observaron que la mayoría de los individuos hasta los 13 años se encontraban en la primera y segunda etapa de maduración; mientras que en todos los mayores de 20 años se observó una fusión completa de la SOS.

El cierre completo más temprano se observó en el grupo de los 11 a 13 años y todos los mayores de 21 años alcanzaron la maduración total de la SOS.

Clínicamente, entre los 7 y los 10 años, cuando la SOS se encuentra en la primera etapa de maduración y no muestra ningún rastro de osificación, la protracción del maxilar proporciona resultados bastante satisfactorios. Se sabe que la protracción maxilar tiene efectos dentoalveolares en el rango de edad de 14 a 16 años donde la SOS alcanza la maduración en la mayoría de los pacientes. A la luz de esto, se puede asumir que el grado de maduración de la SOS se puede utilizar como indicador para predecir si los pacientes entre 11 y 13 años (que se consideran en el rango de edad crítico) responderán bien a las fuerzas ortopédicas.

Además, encontraron que se produce un progreso simultáneo de la maduración de la SOS, MPS y ZMS. Por ello, concluyeron que la maduración de la SOS podría considerarse como un indicador de las etapas de maduración de MPS y ZMS; y que la maduración tardía o temprana de una de estas estructuras anatómicas podría ser un parámetro útil para la predicción individual de los resultados a la aplicación de fuerzas ortopédicas⁽¹²¹⁾.



OBJETIVOS

OBJETIVOS

Los objetivos de este trabajo fueron:

1. Mejorar el conocimiento de la anatomía y osificación de la sutura palatina media mediante análisis radiológicos tridimensionales para optimizar la planificación del tratamiento ortodóncico de expansión del maxilar.
2. Analizar la madurez de la sutura palatina media (MPS), la sincondrosis esfeno-occipital (SOS) y las vértebras cervicales (CVM); clasificándolas de acuerdo con su morfología, en pacientes de entre 4 y 82 años obtenidas a partir de exploraciones de tomografía computarizada de haz cónico (CBCT).
3. Analizar la prevalencia de las diferentes etapas de maduración de la sutura palatina media (MPS) en ambos sexos y estudiar su relación con la edad cronológica, las etapas de maduración de las vértebras cervicales (CVM), el grado de fusión de la sincondrosis esfeno-occipital (SOS) y el patrón de crecimiento sagital y vertical.
4. Determinar si la relación con estos parámetros (edad cronológica, CVM, SOS y patrón de crecimiento sagital y vertical) puede usarse como predictores potenciales del grado de fusión de la sutura palatina media.
5. Describir y comparar la concordancia en la clasificación de las etapas de maduración de la sutura palatina media y la sincondrosis esfeno-occipital realizadas por: 3 grupos de observadores con distintos niveles de formación académica en ortodoncia en el caso de la MPS; y 7 observadores (3 ortodoncistas y 4 estudiantes de 5º curso de odontología) en la clasificación de las etapas de MPSM y SOS.



MATERIAL Y MÉTODOS

MATERIAL Y MÉTODOS

Se realizó un estudio bajo un diseño observacional retrospectivo de corte transversal y se siguieron las guías de recomendación de la Declaración Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) ⁽¹³⁴⁾.

1. Contexto

Se seleccionaron exploraciones radiográficas de 395 pacientes (n= 395), de entre 4 y 82 años de edad y que habían sido necesarias para el diagnóstico y planificación de su tratamiento odontológico (ortodóncico o quirúrgico) en la Universidad Rey Juan Carlos, Facultad de Ciencias de la Salud (Alcorcón, Madrid).

En ésta, además de los medios diagnósticos tradicionales como modelos de escayola y fotografías intra y extraorales, se realizó un escáner CBCT en sustitución de las pruebas radiológicas clásicas como ortopantomografía, telerradiografía lateral de cráneo, radiografía postero-anterior o radiografías periapicales.

El CBCT se utilizó en estos pacientes debido a diferentes motivaciones clínicas de diagnóstico entre las que se encontraban: sospecha de dientes incluidos, supernumerarios, agenesias dentarias, malposición de dientes dentro del hueso alveolar, posibles reabsorciones radiculares, asimetrías, necesidad de cirugía ortognática, problemas de la articulación temporomandibular, retraso en la erupción de piezas, etc.

Se realizó la recogida de datos entre noviembre de 2015 a octubre de 2016; y tras aplicar los criterios de inclusión y exclusión, 382 CBCT fueron aptos para el estudio.

Consideraciones éticas

El Comité de Ética de la Investigación de la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid acordó informar favorablemente la presente investigación por cumplir con los requisitos éticos requeridos para su ejecución (Anexo 1).

Previamente, se elaboró y aportó el consentimiento informado a utilizar en el estudio (de acuerdo con los principios éticos de la Declaración de Helsinki). También se adjuntó un resumen del proyecto y se indicó con qué datos se trabajaría, tipos de datos personales, lugar de almacenamiento y formato en el que se almacenarían los datos personales entre otros, así como los principales asuntos éticos a revisar.

La utilización de las imágenes no supuso para los pacientes una mayor dosis de radiación, puesto que las pruebas no fueron específicamente realizadas para este estudio. Además de solicitar la firma del consentimiento informado a los pacientes, padres o tutores (al ser algunos pacientes menores de edad), se realizó una explicación previa a los pacientes, padres y/o tutores por parte del facultativo insistiendo en que dicho estudio radiográfico se usó para su diagnóstico particular y si consentían se cedería para el presente trabajo una copia anonimizada que sería utilizada exclusivamente para fines de investigación y docencia.

Todos los pacientes fueron codificados, careciendo los datos personales de filiación de interés. Los datos se trataron con la más absoluta confidencialidad. Los métodos para el tratamiento y almacenamiento de los datos están sujetos a la Ley Orgánica Española de Protección de Datos de Carácter Personal.

2. Participantes

Los criterios de inclusión fueron:

- Pacientes tratados en la Clínica Universitaria de la Universidad Rey Juan Carlos (Alcorcón, Madrid) con fines odontológicos.

- CBCT con un FOV (Field Of View) que incluyera todo el complejo maxilar.
- Ausencia de lesiones traumáticas, quísticas o tumorales en el área de estudio.
- Ausencia de asimetrías significativas o malformaciones que afecten a la región craneofacial y/o la columna vertebral.
- Ausencia de enfermedades sistémicas y/o medicamentos que pudieran causar algún trastorno del crecimiento o afectar en el metabolismo óseo.
- Se pudiera acceder a la fecha de nacimiento, fecha de realización de la prueba y género del paciente en el registro radiográfico.

Los criterios de exclusión fueron:

- Imágenes borrosas, de mala calidad.
- Exploraciones cuyo FOV no incluyera el maxilar en su totalidad.
- Antecedentes previos de tratamiento ortodóncico u ortodóncico quirúrgico.

La fuente de selección de los participantes del estudio fue la unidad de Ortodoncia de la Universidad Rey Juan Carlos junto al Servicio de Radiología en la Facultad de Ciencias de la Salud en Alcorcón, Madrid.

El método para la selección de los participantes del estudio fue mediante muestreo intencional.

De los pacientes admitidos se descartaron trece escáneres de la muestra; siendo la mayoría de los rechazos debidos a que el cuerpo vertebral de C4 no se incluyó en el escaneo, como se observa en la Figura 13. Una de estas exploraciones, elegida aleatoriamente se utilizó para calibrar a los evaluadores y para que éstos realizaran cortes de prueba en un programa inicial de aprendizaje. También se descartaron aquellos escáneres en los que se encontraron artefactos secundarios a materiales metálicos que dificultaran el análisis del área de estudio.

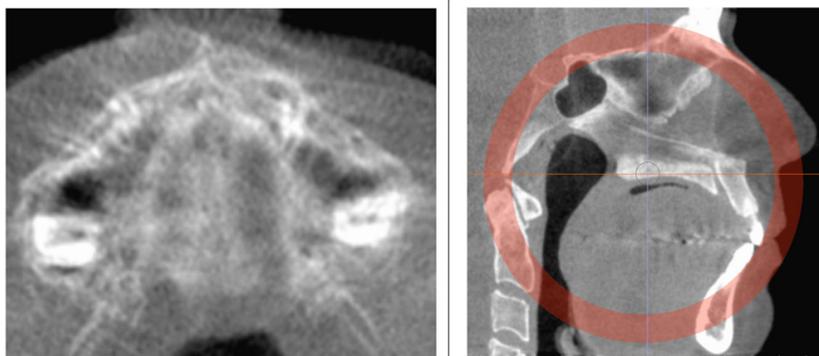


Figura 13. Imágenes descartadas. Por ser borrosa una, y por no incluir C4 la otra.

La muestra final que se utilizó para este estudio fue de 382 escáneres de pacientes; 152 de ellos eran de hombres y 230 de mujeres, con edades comprendidas entre los 4 y 83 años en el momento de la exploración con CBCT.

A los escáneres de estos pacientes, se asignó un número al azar utilizando una tabla de números aleatorios, del 1 al 382; que sería el número de identificación de la prueba, estando la identificación del paciente anonimizada. Dicho número identificó la exploración durante toda la investigación.

3. Materiales utilizados

Las exploraciones se realizaron en el Servicio de Radiología de la Facultad de Ciencias de la Salud en Alcorcón, Madrid. Los estudios siempre fueron realizados por el mismo técnico radiológico, siguiendo un protocolo de colocación y sujeción de la cabeza, idéntico para todos los pacientes.

En base a dicho protocolo, se colocó un cefalostato estabilizando la cabeza y los pacientes fueron orientados con el plano de Frankfort paralelo al suelo. Las exploraciones radiográficas se realizaron con el aparato CBCT CS 8100 3D (Carestream Dental LLC, Atlanta, Estados Unidos).

Para evaluar, medir y crear imágenes tridimensionales del área maxilar se empleó el software InVivo5 (Anatomage[®], San José, California, USA). Este programa permite importar documentos en formato DICOM para realizar un análisis volumétrico, mediciones bi y tridimensionales, valoración de escala de

grises para la determinación de la densidad ósea y segmentación de tejido óseo, obteniendo datos descriptivos y estadísticos. Este software es el mismo con el que se realizó la generación de una telerradiografía lateral para la determinación del CVM.

De forma posterior, se empleó la telerradiografía para el estudio cefalométrico con valores correspondientes a los análisis de Steiner, Ricketts y Jarabak para determinar la clase esquelética y patrón de crecimiento de cada paciente, empleando el programa informático NemoCeph Dental Studio NX versión 4.0 8.5.2. de la casa Software Nemotec®.

NemoCeph permite además de la captura y tratamiento con filtros de las radiografías laterales; mediante un básico proceso de calibrado, la obtención de las medidas de los principales métodos cefalométricos tales como Ricketts, Steiner, Jarabak, Roth y McNamara.

4. Procedimiento empleado para la recogida y tratamiento de los datos

Los datos obtenidos, procedentes de la exploración con el tomógrafo CBCT, se exportaron en formato DICOM a un Compact Disk (CD) individual por cada escáner del paciente. Los archivos DICOM se importaron en el programa InVivo5 y se anonimizaron, quedando sólo los datos del género, edad y la información técnica de la exploración. Estos se cargaron ya anonimizados en el ordenador utilizado para la investigación, en la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid.

4.1. Evaluación de la maduración de la sutura palatina media (MPS)

El ajuste de la cabeza del paciente en los tres planos de espacio y la selección del área de interés para la evaluación de la maduración de MPS se realizó siguiendo el protocolo descrito por Angelieri y cols.⁽⁷³⁾; obteniendo secciones axiales de la sutura palatina para su evaluación morfológica.

Los pasos que se tuvieron en cuenta para la determinación y el análisis de las etapas de maduración de la sutura palatina media fueron los siguientes:

- A. ORIENTACIÓN DE LA CABEZA:** con el módulo de reorientación, se verificó o corrigió la posición natural de la cabeza en los 3 planos del espacio para corregir el balanceo, cabeceo y /o guiñada durante la adquisición de las imágenes. El cursor del software del análisis de la imagen se situó en el plano sagital medio del paciente en ambas vistas, axial y coronal. En la vista sagital, la cabeza del paciente se ajustó de modo que el eje anteroposterior del paladar fuera horizontal.
- B. ESTANDARIZACIÓN DEL CORTE AXIAL DE LA SECCIÓN TRANSVERSAL USADO PARA LA EVALUACIÓN DE LA SUTURA:** en el plano sagital se utilizó el corte sagital medio de la sección transversal para posicionar el paladar horizontalmente. Después, se usó el corte central en la dimensión supero-inferior (ej. de la superficie nasal a la oral) para la clasificación de las etapas de maduración de la sutura palatina media.

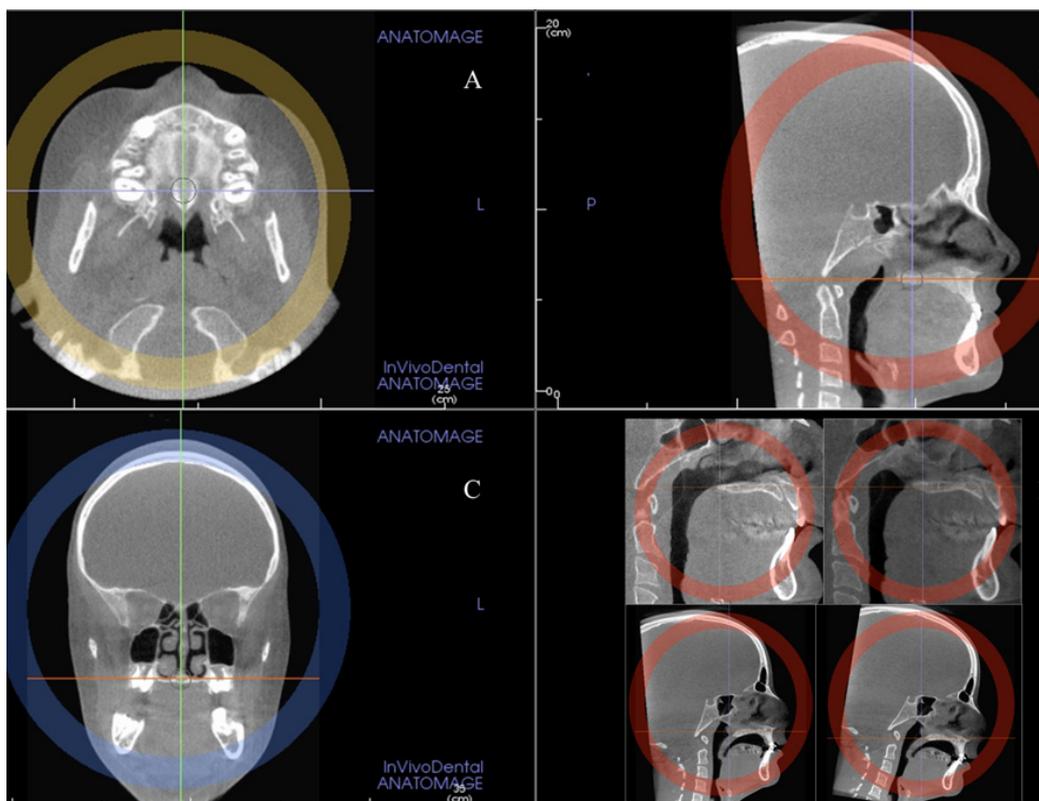


Figura 14. Orientación de la cabeza para obtener el corte axial. A- Vista axial. B - Vista sagital. C - Vista coronal. D- Diferentes cortes para los pacientes con paladar curvo o grueso.

Para aquellos que presentaban un *paladar curvo*, se evaluó tomando 2 cortes axiales de la sección transversal central; identificando la región posterior y anterior por separado. Un paladar curvo será definido como un paladar donde la porción anterior y posterior no pueden ser visualizadas en el mismo corte axial, por lo que para la clasificación de las etapas se requieren dos cortes (Figura 15).

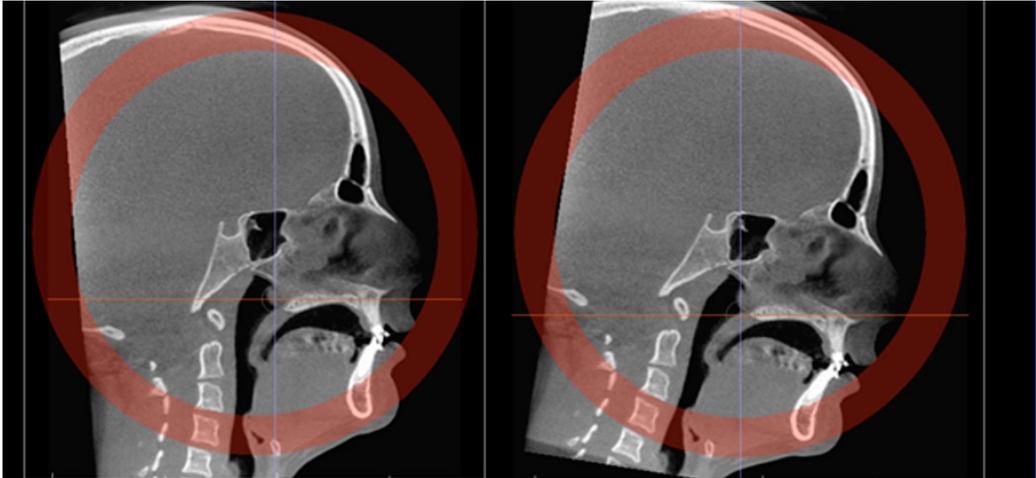


Figura 15. Vista sagital con los cambios en la orientación del plano palatino, para realizar un corte axial de la región posterior de la sutura y otro para la zona anterior.

Para aquellos que presentaban un paladar grueso, se evaluó en más de dos cortes axiales centrales. Un *paladar grueso* será definido: como un paladar donde la sutura palatina media puede ser evaluada en más de tres cortes axiales (1 oral, 1 central, 1 nasal); por esta razón un paladar grueso puede tener más de 2 cortes centrales (Figura 16).

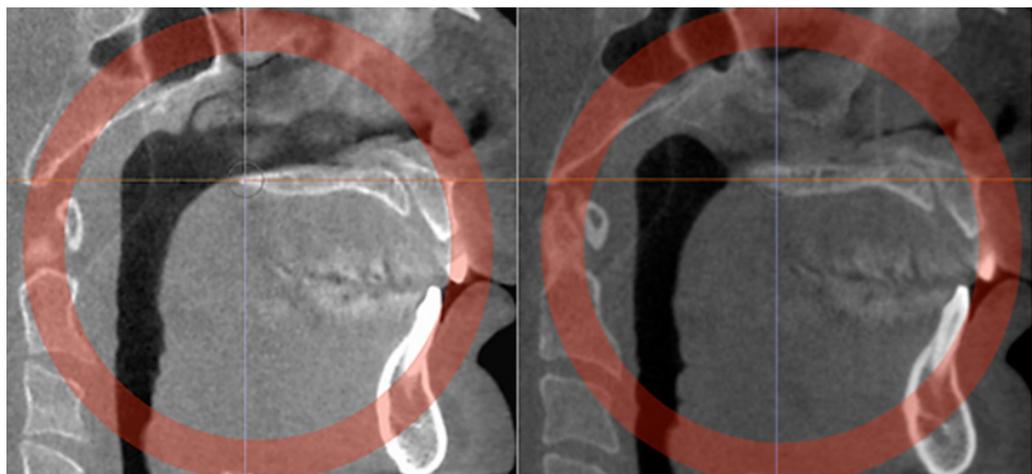


Figura 16. Vista sagital para la evaluación de un paladar grueso realizando varios cortes axiales centrales.

C. DEFINICIÓN DE LAS ETAPAS DE MADURACIÓN DE LA SUTURA PALATINA

MEDIA: Estas etapas de fusión se clasificaron mediante el análisis de las secciones transversales en el plano axial de las imágenes CBCT (Figura 17).

- Etapa A: Se observa la sutura palatina media como una línea recta de alta densidad, con poca o ninguna interdigitación.
- Etapa B: La sutura presenta una forma irregular y se observa como una línea festoneada de alta densidad. Los pacientes en la etapa B también pueden tener algunas pequeñas áreas donde se ven dos líneas festoneadas paralelas de alta densidad que están cerca una de la otra y separadas por pequeños espacios de baja densidad.
- Etapa C: La sutura palatina media aparece como dos líneas paralelas, festoneadas, de alta densidad que están cerca la una de la otra, pero separadas por pequeños espacios de baja densidad en el hueso maxilar y palatino. Aparecen dos líneas con las mismas características que en la etapa anterior que se inician en el foramen incisivo y terminan en la zona posterior a la sutura palatino-maxilar. La sutura puede mostrar un patrón recto o irregular.

- Etapa D: La fusión de la sutura se ha producido en el hueso palatino, con una maduración progresiva desde posterior a anterior. En esta etapa, la sutura palatina media no puede visualizarse en el hueso palatino y la densidad del hueso parasutural está aumentada (hueso de alta densidad) en comparación con la densidad del hueso maxilar parasutural. Sin embargo, en la zona maxilar la fusión aún no se ha producido, y la sutura puede verse todavía como dos líneas de alta densidad separadas por pequeños espacios de baja densidad.
- Etapa E: Se ha producido la fusión de la sutura palatina media en el hueso maxilar, siendo la densidad del mismo, igual a otras regiones del hueso, dejando de ser visible en al menos una porción del maxilar.

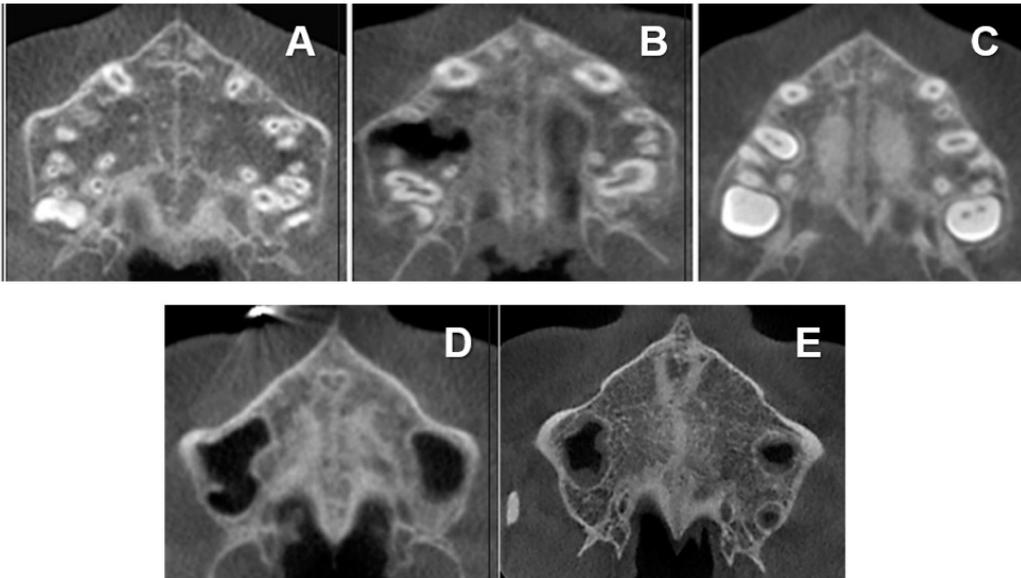


Figura 17. Representación esquemática de las etapas de maduración de la Sutura Palatina Media. Etapas A-E.

Todos los cortes de CBCT fueron clasificados por un examinador experto en ortodoncia (B. D. R.) de acuerdo con el análisis visual de las etapas de maduración propuesto⁽⁷³⁾ (Figura 17).

El ortodoncista fue calibrado previamente con otro ortodoncista experto senior (M. R. M.), tomando 29 CBCT no incluidos en el estudio. El kappa ponderado cuadrático fue de 0.94 (95% -IC: 0.89-

0.96), siendo una concordancia "casi perfecta" según la escala de Landis y Koch ⁽¹³⁵⁾.

D. EVALUACIÓN DE LA CONCORDANCIA: Se realizó una encuesta a los alumnos del máster de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Rey Juan Carlos, a fin de evaluar la fiabilidad y reproducibilidad de esta clasificación.

Se formaron tres grupos de observadores, utilizando como criterio el nivel de formación ortodóncica de los participantes. Cada grupo se constituyó, por seis observadores. Estos grupos estaban formados por todos los alumnos residentes de primer, segundo y tercer año del Máster de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Rey Juan Carlos de Madrid, durante el curso académico 2015-2016, que colaboraron voluntariamente. Estos alumnos eran licenciados en odontología y colegiados en Madrid. Cada grupo se nombró como grupo Nº1, Nº2 o Nº3 coincidiendo con el año que estaban cursando en el Máster. Previamente se informó a los alumnos durante una de sus clases teóricas del curso, del objetivo y las características de la investigación. Los 18 observadores fueron numerados; la numeración dentro de cada grupo fue aleatoria.

Se establecieron los tres grupos de forma tal que el grupo número 1 estuvo integrado por los seis dentistas residentes de primer año del Máster numerados como observadores del 1 al 6; el grupo número 2, por los seis residentes de segundo del Máster, numerados como observadores del 7 al 12 y el grupo número 3, por los seis residentes de tercero de Máster numerados como observadores del 12 al 18. El número asignado fue el utilizado durante todo el trabajo. Aunque cada grupo tenía una formación previa de acuerdo a su nivel de estudios antes de hacer la determinación de las etapas; se les realizó una preparación específica en la clasificación de la maduración de la sutura palatina media, igual para todos. Se les impartió un breve recordatorio de la anatomía del complejo cráneo facial y su visualización en CBCT. Posteriormente, se les dio unas nociones referentes a la clasificación de las etapas de maduración de la

sutura. Se usó como material complementario imágenes recogidas del artículo original de dicha clasificación. Así mismo, se les explicó el manejo del programa informático y se les permitió participar y aclarar todas las dudas que surgieran durante el mismo.

Como parte de este entrenamiento, y antes de realizar la primera encuesta de clasificación se realizó una prueba piloto con 11 imágenes. Se aclararon al conjunto de evaluadores todas las dudas sobre el procedimiento a seguir. El adiestramiento en la clasificación a determinar fueron los mismos para los distintos grupos, permitiendo una formación homogénea de los participantes en el estudio.

Todos los grupos de evaluadores empezarían la clasificación de las etapas desde el mismo nivel de no haber mantenido contacto previo con ésta; pero con distintos niveles de experiencia con respecto a la visualización en CBCT dependiendo del grupo, pero habiendo realizado una prueba piloto completa.

Los grupos establecidos fueron:

- Grupo de 1º Máster: seis dentistas residentes cursando el primer año de Máster.
- Grupo de 2º Máster: seis dentistas residentes cursando el segundo año de Máster.
- Grupo de 3º Máster: seis dentistas residentes cursando el tercer año de Máster.

Los evaluadores tuvieron a su disposición un muestrario de láminas fotográficas con imágenes aclaratorias de las diferentes etapas de la clasificación de la osificación de la sutura palatina. También se entregó un protocolo resumido (Anexo 2) con lo más destacado de la información anterior.

Un total de 15 cortes se dispusieron en una presentación (Microsoft Office PowerPoint 2007) con fondo negro y en un monitor de alta definición.

Cada imagen se clasifico en un cuarto oscuro y sin modificar ni el brillo ni el contraste.

Al finalizar todos los observadores, se volvió a repetir el ejercicio dejando pasar obligatoriamente un mínimo de una semana antes de realizar la segunda evaluación, en la cual se cambió de forma aleatoria el orden de las imágenes a clasificar, siguiendo el mismo protocolo.

En resumen, los observadores realizaron dos ejercicios de evaluación de las etapas de maduración de la sutura palatina media para las 15 imágenes. Los datos obtenidos se exportaron a tablas Excel 2010 (Microsoft® Office Professional Plus 2010) donde se organizaron apropiadamente.

4.2. Evaluación del grado de fusión de la sincondrosis esfeno-occipital (SOS)

Lo primero fue realizar el ajuste de la cabeza del paciente en los tres planos de espacio y la selección del área de interés para la evaluación de la sincondrosis esfeno-occipital. Corrección de cualquier inclinación de la cabeza del paciente, de tal forma que el plano sagital medio fuera perpendicular al suelo y pasara por la sutura intermaxilar utilizando el software InVivo5 de Anatomage®.

Como vista de elección, se utilizó la sección sagital media de la base craneal. El estado de osificación de la sincondrosis esfeno-occipital se evaluó utilizando la clasificación de cinco etapas desarrollada por Bassed y cols.⁽¹¹⁷⁾ (Figura 18).

- En la etapa 1, la sincondrosis está completamente abierta y sin fusionar.
- En la etapa 2, el borde superior se ha fusionado, mientras que el resto del sitio de fusión es patente.
- En la etapa 3, la mitad de la longitud de la sincondrosis está cerrada.
- En la etapa 4, la fusión se ha completado, pero el sitio aún es visible a través de una cicatriz de fusión. La etapa 4 es una nueva etapa de crecimiento añadida específicamente debido a la capacidad de visualizar la cicatriz de

fusión en imágenes de TC de alta resolución, lo que no es posible con la radiografía convencional o con cráneos secos.

- En la etapa 5, el sitio ha sido completamente borrado con la apariencia de hueso normal en todas partes.

Se eligió este sistema de estadificación ya que las diferentes etapas son fácilmente definibles y reproducibles en términos de evaluación intra e interobservador.



Figura 18. Representación esquemática de la fusión de la Sincondrosis Esfeno-Occipital. Etapas 1-5

4.3. Evaluación de la edad ósea a partir de las vértebras cervicales (CVM)

Se generaron telerradiografías laterales a partir de las imágenes de tomografía computarizada utilizando el software InVivo5 (Anatomage, San José, California, USA).

Posteriormente, se analizó la anatomía de las vértebras cervicales y fueron clasificadas según su etapa CVM por un examinador experto en ortodoncia (B. D. R.), de acuerdo con el método de análisis visual de las etapas de maduración propuesto por Baccetti y cols.^(36,136).

Se analizó la presencia o ausencia de una concavidad en el borde inferior de C2, C3 y C4 y la forma del cuerpo de C3 y C4 en rectangular, rectangular horizontal, cuadrada o rectangular vertical.

Baccetti y Cols. (2005) proporcionaron unas mejoras del análisis CVM original para hacer el método más sencillo y aplicable a la gran mayoría de los pacientes. Utilizan un número más limitado de cuerpos vertebrales,

incluyendo sólo C2, C3, y C4, que pueden ser visualizadas cuando se pone el delantal plomado con collar tiroideo de protección al paciente.

Las etapas cervicales (CS) son las siguientes: (Figura 19)

- En CS1, los bordes inferiores de las tres vértebras (C2-C4) son planos, y los cuerpos de C3 y C4 tienen forma trapezoidal (el borde superior del cuerpo vertebral se estrecha de la parte posterior a la anterior).
- En CS2, hay una concavidad en el borde inferior de C2 y los cuerpos de C3 y C4 todavía tienen forma trapezoidal.
- En CS3, las concavidades en los bordes inferiores de C2 y C3 están presentes, y los cuerpos de C3 y C4 pueden ser de forma trapezoidal u horizontal rectangular.
- En CS4, las concavidades en el borde inferior de C2, C3 y C4 están ahora presentes y los cuerpos tanto de C3 como de C4 tienen forma rectangular horizontal.
- En CS5, las concavidades en el borde inferior de C2, C3 y C4 todavía están presentes y al menos uno de los cuerpos de C3 y C4 tiene forma cuadrada; el cuerpo de la otra vértebra cervical puede seguir siendo rectangular horizontal.
- En CS6, las concavidades en los bordes inferiores de C2, C3 y C4 todavía son evidentes y al menos uno de los cuerpos de C3 y C4 tiene forma rectangular vertical; el cuerpo de la otra vértebra cervical puede seguir cuadrado.

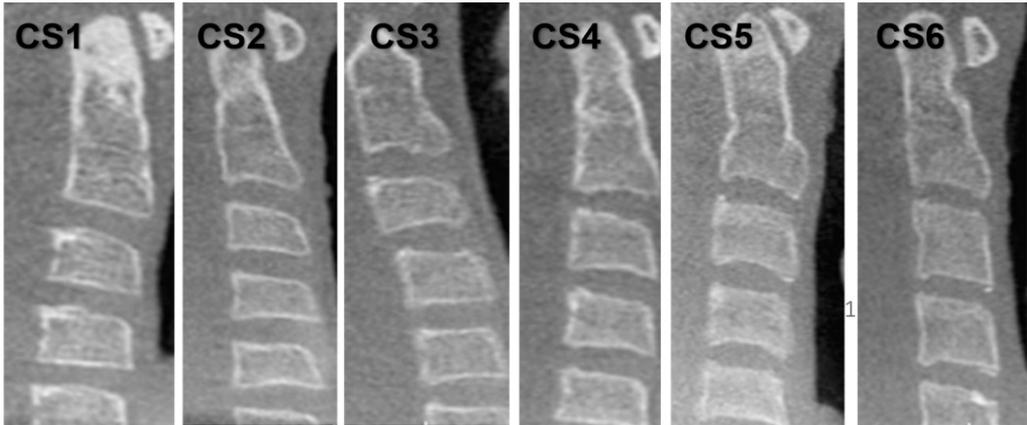


Figura 19. Representación esquemática de la maduración de las vértebras cervicales (CVM). Etapas CS1 a CS6.

El ortodoncista (B. D. R.) fue calibrado previamente con otro ortodoncista experto senior (M. R. M.), realizando las clasificaciones radiológicas de 29 pacientes no incluidos en el estudio.

Los datos se analizaron estadísticamente para evaluar la concordancia entre observadores. El kappa ponderado cuadrático fue 0.95 (95% -IC: 0.90-0.98). Esas cifras significan una concordancia "casi perfecta" según la escala de Landis y Koch⁽¹³⁵⁾.

4.4. Evaluación de las variables cefalométricas de patrón y clase esquelética

De forma posterior, se extrajeron las medidas cefalométricas correspondientes de los análisis de Steiner, Ricketts y Jarabak para determinar la clase esquelética y patrón de crecimiento facial de cada paciente. (Figura 20)

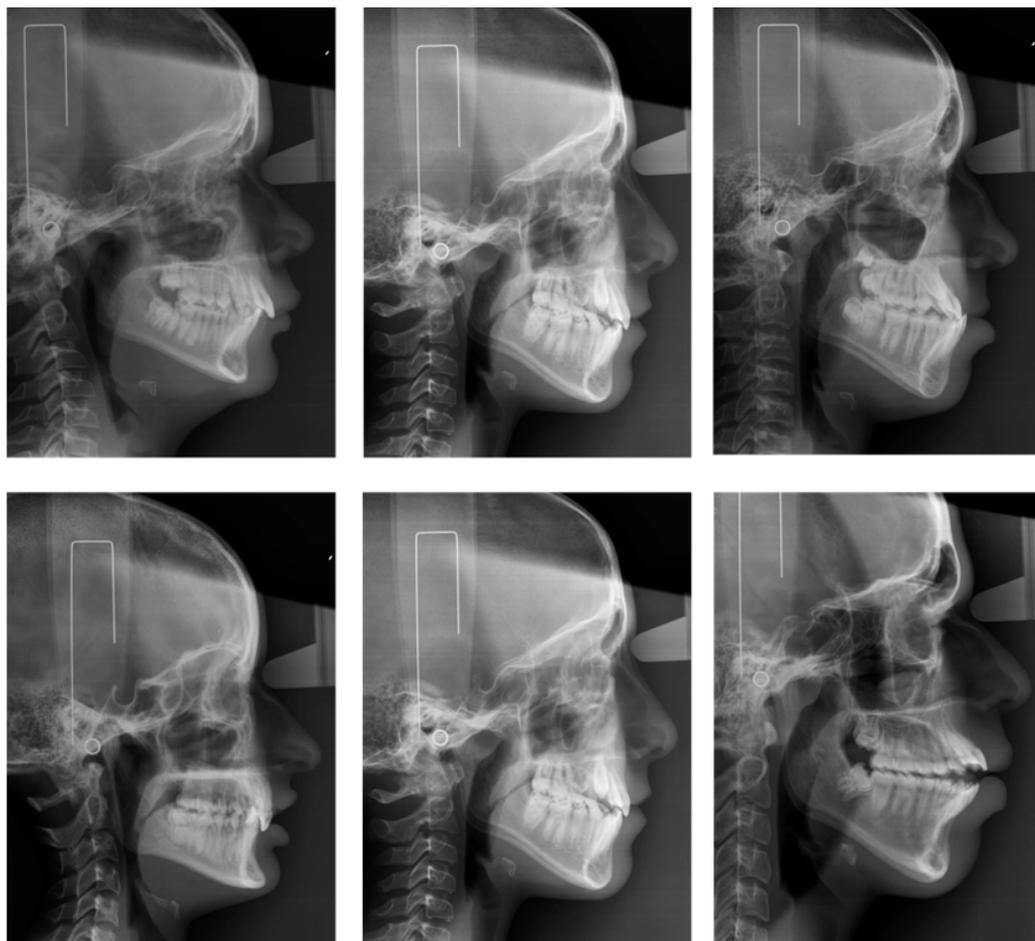


Figura 20. Análisis cefalométrico para evaluar los diferentes patrones esqueléticos anteroposteriores (Clase II, I, III) y verticales (braquifacial, mesofacial y dólicofacial).

Clase esquelética:

- *Ángulo ANB de Steiner:* Indica la relación que existe entre el maxilar y la mandíbula, mediante la diferencia entre los ángulos SNA y SNB. Está formado por el plano Nasion –punto A y el plano Nasion– punto B.
 - El valor normal es de 2 ± 2 . Una disminución del valor por debajo de la norma indicaría una clase III. Un aumento del valor por encima de la norma indicaría una clase II. Un valor dentro de la norma indicaría una clase I.

- *Convexidad Facial de Ricketts*: Define la clase esquelética, midiendo la distancia del punto A al plano facial.
 - El valor normal es de $2 \text{ mm} \pm 2 \text{ mm}$ a la edad de ocho años y medio (disminuye $0,2 \text{ mm}$ al año). Una disminución de esta medida señala una clase III; en cambio, un aumento de está indicaría una clase II.
- *Wits Appraisal*: Determina la relación esquelética anteroposterior en base a la distancia entre el punto A y punto B sobre el plano oclusal. Se proyectan los puntos A y B perpendicularmente al plano oclusal y se mide la distancia entre ambos puntos.
 - El valor normal es de 0 mm en mujeres y de -1 mm en varones, donde el punto A estaría 1 mm por detrás del punto B.

En términos generales, en la clase I, la proyección del punto A y B generalmente coinciden. En las clases II, la proyección del punto A estaría delante del punto B dando un valor de signo positivo; en las clases III, la proyección del punto B se encontraría delante del A dando un valor de signo negativo.

Los valores establecidos para determinar clase I, clase II o clase III esquelética son los siguientes:

- Clase I esquelética (Norma clínica): $1 \pm 2 \text{ mm}$.
- Clase III esquelética: menor o igual -1 mm .
- Clase II esquelética: mayor o igual 3 mm

Patrón de crecimiento:

- *Ángulo del plano mandibular de Steiner (SN-GoGn)*: Ángulo formado por el plano mandibular (gonion – gnation), y la línea sella – nasion.
 - El valor normal es de 32 ± 2 . Un aumento de este valor indica un crecimiento vertical y una disminución, un crecimiento horizontal.

- *Altura Facial Posterior/ Altura Facial Anterior de Jarabak (AFP/AFA)*: Es la relación porcentual entre la altura facial posterior (distancia entre sella y gonion) y la altura facial anterior (distancia entre nasion y menton) con el fin de determinar la dirección de crecimiento del paciente.
 - Si la relación *AFP/AFA* es de 54 a 58%, el biotipo es dólicofacial, existiendo un crecimiento rotacional posterior. Cuando sea del 64 al 80%, existe un crecimiento en contra de las agujas del reloj que corresponde a un biotipo braquifacial. Por último, valores desde 59 a 63%, equivalen a un biotipo mesofacial, es decir, el crecimiento es neutro sin rotación en ninguno de los sentidos.
- Biotipo facial de Ricketts VERT: Coeficiente obtenido a partir de cinco medidas: *Eje facial, Profundidad facial, Ángulo del plano mandibular, Altura facial inferior y Arco mandibular*. Para cada medida se calcula la desviación de la norma. Las desviaciones hacia un patrón dólicofacial llevan signo negativo y las desviaciones hacia un patrón braquifacial, un signo positivo.
 - I. *Ángulo del Plano Mandibular*: Ángulo formado por el plano mandibular y el plano horizontal de Frankfort. El valor normal es 26° a los nueve años y disminuye 0,3° por año. Un valor disminuido corresponde a un paciente braquifacial con mandíbula cuadrada y un valor aumentado a un paciente dólicofacial.
 - II. *Arco Mandibular*: Ángulo formado por el eje del cuerpo mandibular y el eje condilar. El valor normal es de 26° ± 4 a la edad de ocho años y medio y aumenta 0,5° por año.
 - III. *Altura Facial Inferior*: Representa el grado de divergencia vertical y anteroposterior de las bases maxilares. Formado por los planos Xi-ENA y Xi-Pm. El valor normal es de 47° ± 4 y no varía con la edad. Se encuentra aumentado en pacientes con un patrón dólicofacial, mientras que un valor disminuido corresponde a pacientes braquifaciales.

- IV. *Eje Facial*: Representa la dirección de crecimiento, expresando la posición del mentón en sentido vertical y anteroposterior. Es el ángulo formado por la intersección del eje facial (Pt – Gn) y el plano basion-nasion (Ba- Na). El valor normal es de $90^\circ \pm 3$ en un niño de 9 años. Este ángulo no cambia con la edad. Un valor aumentado por un crecimiento mandibular horizontal es típico de un paciente braquifacial y un valor disminuido por un crecimiento mandibular vertical es indicativo de un paciente dólcofacial.
- V. *Profundidad Facial*: Localiza la mandíbula en el plano horizontal, indicando la posición/dirección anteroposterior del mentón. Es el ángulo formado por la intersección del plano Facial (Na – Pg) y el plano de Frankfort (P-Or). La norma a los nueve años es de $87^\circ \pm 3^\circ$, aumentando $0,3^\circ$ al año. En pacientes dólcofaciales se encuentra disminuido y aumentado en braquifaciales.
- *Altura Facial Total de Ricketts*: Es el ángulo formado por la intersección de Ba-Na y Xi-Pm.
 - La norma es 60 ± 3 , valores aumentados son indicativos de los pacientes dólcofaciales y valores disminuidos de los braquifaciales.
 - Σ Jarabak: Corresponde a la suma de los ángulos del polígono de Björk-Jarabak para obtener la resultante de la dirección de crecimiento de cada sujeto.
 - La norma es de $396^\circ \pm 6^\circ$, mientras que valores disminuidos corresponden a un crecimiento hipodivergente (braquifacial) y valores aumentados a un crecimiento hiperdivergente (dólcofacial).

5. Definición de las variables

Las variables anatómicas y radiológicas estudiadas en este documento se describen a continuación:

Sexo:

- a. Definición conceptual: características sexuales secundarias. La medición de esta variable se obtendrá del registro del CBCT.
- b. Categorías: hombre o mujer.
- c. Nombrada como “SEXO” para el análisis de datos.
- d. Variable independiente cualitativa dicotómica.

Edad:

- a. Definición conceptual: tiempo transcurrido desde el nacimiento hasta el momento de la toma del CBCT. La medición de esta variable se realizará estableciendo la diferencia aritmética entre la fecha de la toma del CBCT y la fecha de nacimiento (ambos datos obtenidos del registro de las tomografías).
- b. Escala de medida: Años.
- c. Nombrada como “EDAD” para el análisis de datos.
- d. Variable independiente cuantitativa continua medida en años.
- e. Valores:
 - Grupo etario comprendido desde 4 a <11 años.
 - Grupo etario comprendido desde 11 a <14 años.
 - Grupo etario comprendido desde 14 a <18 años.
 - Grupo etario comprendido \geq de 18 años.

Etapas de osificación de la sutura palatina media:

- a. Definición conceptual: Formación de espículas en diferentes lugares de la sutura palatina media. La medición de esta variable se determinó en el CBCT representada por el comportamiento de la sutura palatina media. Se empleó la clasificación de Angelieri y cols.⁽⁷³⁾.
- b. Valores:
 - Etapa A
 - Etapa B
 - Etapa C
 - Etapa D
 - Etapa E
- c. Nombrada como “ETAPA MPS” para el análisis de datos.
- d. Variable independiente cualitativa.

Etapas de maduración ósea de las vértebras cervicales (CVM):

- a. Definición conceptual: esta variable se describió como la evaluación de la edad ósea basándose en las modificaciones morfológicas que ocurren en los cuerpos de las vértebras cervicales. La medición de esta variable se determinó en el CBCT, en un corte sagital, representado por la forma anatómica de las vértebras cervicales.

Las etapas de CVM se definieron según el método de Baccetti y cols.⁽³⁶⁾. Se analiza la presencia o ausencia de una concavidad en el borde inferior de C2, C3 y C4 y la forma del cuerpo de C3 y C4 en trapecoidal, rectangular horizontal, cuadrada o rectangular vertical.

b. Valores:

- CS1
- CS2
- CS3
- CS4
- CS5
- CS6

c. Nombrada como “ETAPA CVM” para el análisis de datos.

d. Variable independiente cualitativa.

Etapas de Osificación de la Sincondrosis Esfeno-occipital:

a. Definición conceptual: El grado de fusión de la sincondrosis esfeno-occipital se evaluó utilizando el sistema de cinco etapas desarrollado por Bassed y cols.⁽¹¹⁷⁾.

b. Valores:

- 1
- 2
- 3
- 4
- 5

c. Nombrada como “SOS” para el análisis de datos.

d. Categorías: 1, 2, 3, 4 y 5.

e. Variable independiente cualitativa.

6. Sesgos

Se seleccionó a los sujetos mediante muestro intencional. No se pudo realizar un muestreo aleatorio debido a la escasez de exámenes radiológicos contenidos en la base de datos con un FOV suficientemente amplio.

Dentro de los sesgos de información, la naturaleza de medición fue controlada al introducir un segundo evaluador, por lo tanto, dos investigadores realizaron las clasificaciones (B. D. R. y M. R. M.).

Respecto al programa empleado, InVivo5 de Anatomage®, existen diversas publicaciones científicas que avalan su uso, tanto para evaluar las etapas de osificación de la sutura palatina media como para generar telerradiografías laterales que permitan la evaluación del CVM, por lo que la herramienta de medición es ampliamente utilizada en el ámbito científico.

Los sesgos de información fueron controlados al tener a un experto en bioestadística evaluando los procesos estadísticos (M. B.).

Los datos recopilados se anonimizaron para su análisis mediante una técnica de reducción de datos realizada por un revisor independiente, con un objetivo doble: el tratamiento estadístico asegurando la privacidad de los pacientes y las evaluaciones de las variables de forma enmascarada.

7. Determinación del tamaño muestral

El tamaño de la muestra ($n = 382$) permitió la comparación entre diferentes grupos en términos de variables cuantitativas estudiadas (grado de maduración de la sutura palatina, etapa vertebral, etc.) con un poder de 80%, error alfa del 5%, para detectar un estandarizado (tamaño del efecto) diferencia de 0.3, que es entre moderada y pequeña según la escala de Cohen⁽¹³⁷⁾ obtenida por el programa de computadora Sample Power 2.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, USA).

8. Análisis estadístico

Se empleó la hoja de cálculo Excel del programa Microsoft® Office Professional Plus 2010 para que los interpretara en tablas compatibles. Las tablas fueron compiladas de manera manual en dos documentos, uno correspondiente a las variables estudiadas y otro con las encuestas realizadas. El objetivo final fue exportar a un solo documento esas tablas al paquete estadístico SPSS® Windows Versión 15.0.

Con este programa estadístico se generó la base de datos que se utilizó para realizar el análisis y obtener los resultados de este estudio. Antes de proceder al análisis de los datos, tras la lectura de la información con el paquete estadístico SPSS, se crearon las variables que se mencionaron en el apartado anterior.

Se realizó un análisis estadístico descriptivo utilizando el paquete software SPSS®-Windows versión 15.0 (SPSS Inc., Chicago, IL, EE. UU.).

El análisis estadístico se realizó siguiendo los métodos descritos a continuación y en las notas al pie de las tablas.

El objetivo del análisis fue evaluar la capacidad discriminante de las diferentes variables y modelos de regresión logística para identificar a los pacientes con maduración de la sutura palatina en las etapas A y B, o A, B y C (etapas en las cuales la ERM tendrá mayor efecto esquelético).

Los predictores potenciales fueron la edad cronológica, el sexo, el CVM y siete variables derivadas de la cefalometría.

También se construyeron modelos de regresión logística binaria múltiple, considerando solo variables estadísticamente significativas, pero eligiendo solo una de las variables de patrón para evitar cualquier efecto de colinealidad, ya que estas variables estaban altamente correlacionadas (r de Spearman $> 0,60$).

La edad-sexo o la etapa vertebral se combinaron con el patrón de crecimiento facial (ángulo SN-GoGn), pero no la edad con la etapa vertebral, ya que estos

estaban altamente correlacionados (Spearman $r > 0,60$). Los modelos logísticos se crearon para obtener diferentes modelos predictivos o algoritmos.

Los datos se sometieron a una validación cruzada: la muestra se dividió aleatoriamente en diez grupos de igual tamaño; a su vez, cada grupo se eliminó del conjunto de datos y se ajustó un modelo de regresión logística utilizando los datos restantes.

El modelo estadístico ajustado se utilizó para hacer predicciones para los datos omitidos. Este proceso se repitió para cada uno de los diez grupos. De esta manera, los datos utilizados para hacer predicciones estaban separados de los datos utilizados para estimar el rendimiento del algoritmo en todos los casos, lo que proporcionaba estimaciones imparciales de los valores de discriminación.

Para analizar la capacidad discriminante de las variables o modelos logísticos, se construyó una curva ROC (Receiver Operating Characteristic) para cada uno, calculando las áreas y el error estándar mediante la estadística de Wilcoxon⁽¹³⁸⁾.

Primero, la asociación se probó mediante la prueba de asociación lineal Mantel-Haenszel, basada en una distribución de chi-cuadrado con un grado de libertad. Diferentes áreas en las variables / modelos también se compararon de acuerdo con Hanley y McNeil⁽¹³⁹⁾.

La sensibilidad y la especificidad se calcularon en el punto de corte dando el índice de Youden óptimo (más alto), es decir, $Se + Sp - 1$ ⁽¹⁴⁰⁾.



RESULTADOS

RESULTADOS

Descripción general de los datos analizados

De los 395 CBCT disponibles, 382 CBCT cumplieron los criterios de inclusión. Los trece CBCT que no se incluyeron se debió a no poderse visualizar la C4 y/o distorsión o imagen borrosa del área a analizar.

Se analizaron un total de 13 variables:

- Sexo.
- Edad.
- Etapa de maduración SPM.
- Etapa de osificación SOS.
- Etapa CVM.
- Clase Esquelética.
 - ANB
 - Convexidad
 - WITS
- Patrón de crecimiento.
 - SN-GoGN
 - VERT
 - AFP/AFA
 - ΣJarabak

La edad promedio de los sujetos fue de 24 años ($DE \pm 19$). Las mujeres representaron el 60.2% ($n = 230$) de la muestra del estudio, y el 39.8% ($n = 152$) fueron hombres.

Los sujetos en etapa pre-pico y pico de máximo crecimiento puberal según el CVM representaron el 29 % de la muestra del estudio ($n = 110$) y el 71% ($n = 272$) habían pasado el pico de máximo crecimiento.

Sexo	n	Hombres (%)	Mujeres (%)
	382	39,8	60,2

Los sujetos se subdividieron en los siguientes grupos de edad:

Tabla 1. Distribución según grupos de la variable edad analizada en el estudio.

Edad (años)	n (%)
4-10	55 (14.4)
11-13	89 (23.3)
14-17	108 (28.3)
18-25	36 (9.4)
26-49	42 (11.0)
Mayores de 50	52 (13.6)
Media \pm DE	23.8 \pm 18.6

Tabla 2. Distribución de las variables de madurez esquelética según edad y sexo.

	Edad (años)					
	4-10	11-13	14-17	18-25	26-49	≥ 50
Mujeres (n=230)						
<i>Etapa MPSM</i>	n=30	n=50	n=74	n=18	n=29	n=29
A	12 (40.0)	4 (8.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
B	17 (56.7)	14 (28.0)	2 (2.7)	2 (11.1)	0 (0.0)	0 (0.0)
C	1 (3.3)	28 (56.0)	39 (52.7)	8 (44.4)	2 (6.9)	3 (10.3)
D	0 (0.0)	3 (6.0)	20 (27.0)	4 (22.2)	7 (24.1)	2 (6.9)
E	0 (0.0)	1 (2.0)	13 (17.6)	4 (22.2)	20 (69.0)	24 (82.8)
<i>Etapa CVM</i>	n=30	n=50	n=74	n=18	n=29	n=29
CS1	16 (53.3)	2 (4.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
CS2	9 (30.0)	5 (10.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
CS3	5 (16.7)	11 (22.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
CS4	0 (0.0)	11 (22.0)	5 (6.8)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
CS5	0 (0.0)	20 (40.0)	39 (52.7)	6 (33.3)	0 (0.0)	0 (0.0)
CS6	0 (0.0)	1 (2.0)	30 (40.5)	12 (66.7)	29 (100)	29 (100)
<i>Etapa SOS</i>	n=25	n=36	n=53	n=12	n=22	n=23
1	18 (72.0)	1 (2.8)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
2	4 (16.0)	5 (13.9)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
3	3 (12.0)	17 (47.2)	3 (5.7)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
4	0 (0.0)	12 (33.3)	23 (43.4)	6 (50.0)	2 (9.1)	0 (0.0)
5	0 (0.0)	1 (2.8)	27 (50.9)	6 (50.0)	20 (90.9)	23 (100.0)
Hombres (n=152)						
<i>Etapa MPS</i>	n=25	n=39	n=34	n=18	n=13	n=23
A	15 (60.0)	1 (2.6)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
B	9 (36.0)	25 (64.1)	3 (8.8)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
C	1 (4.0)	11 (28.2)	17 (50.0)	6 (33.3)	3 (23.1)	1 (4.3)
D	0 (0.0)	2 (5.1)	12 (35.3)	10 (55.6)	4 (30.8)	1 (4.3)
E	0 (0.0)	0 (0.0)	2 (5.9)	2 (11.1)	6 (46.2)	21 (91.3)
<i>Etapa CVM</i>	n=25	n=39	n=34	n=18	n=13	n=23
CS1	16 (64.0)	6 (15.4)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
CS2	8 (32.0)	12 (30.8)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
CS3	1 (4.0)	15 (38.5)	4 (11.8)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
CS4	0 (0.0)	4 (10.3)	6 (17.6)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
CS5	0 (0.0)	2 (5.1)	20 (58.8)	6 (33.3)	0 (0.0)	0 (0.0)
CS6	0 (0.0)	0 (0.0)	4 (11.8)	12 (66.7)	13 (100)	23 (100)
<i>Etapa SOS</i>	n=19	n=36	n=27	n=17	n=12	n=22
1	18 (94.7)	10 (27.8)	1 (3.7)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
2	1 (5.3)	15 (41.7)	2 (7.4)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
3	0 (0.0)	11 (30.6)	4 (14.8)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
4	0 (0.0)	0 (0.0)	15 (55.6)	6 (35.3)	1 (8.3)	0 (0.0)
5	0 (0.0)	0 (0.0)	5 (18.5)	11 (64.7)	11 (91.7)	22 (100.0)

No obstante, al realizar el análisis estadístico, se subdividió solamente en cuatro grupos, siendo el último, mayores de 18 años en adelante; debido a la escasa muestra que quedaba al subdividir.

Análisis de fiabilidad entre observadores

El ortodoncista (B. D. R.) fue calibrado previamente con otro ortodoncista experto senior (M. R. M.), tomando 29 pacientes no incluidos en el estudio. Los kappas ponderados cuadráticos fueron de 0.94 (IC del 95%: 0.89 a 0.96) para la variable *etapa de maduración de la sutura (MPS)* y de 0.95 (IC del 95% = 0.90 a 0.98) en la variable *etapa vertebral (CVM)*. Por lo tanto, según la escala de Landis y Koch⁽¹³⁵⁾ la correlación inter-observador en las variables *MPS* y *CVM* fue muy buena, puesto que estas cifras significan una concordancia "casi perfecta". Por este motivo, para la estadística inferencial fueron usados los datos de un operador únicamente (B. D. R.).

El acuerdo intra-observador es el grado de acuerdo entre las repetidas clasificaciones de los indicadores de maduración esquelética (*CVM*, *MPS* y *SOS*) según lo realizado por un solo observador. Esto se evaluó utilizando estadísticas kappa ponderadas.

A fin de comprobar la reproducibilidad de la clasificación, se evaluó a los alumnos de los tres cursos del máster de Ortodoncia y Ortopedia Dentofacial de la Universidad Rey Juan Carlos, divididos en cursos que reflejan su grado de experiencia en la visualización de imágenes CBCT (Tabla 3).

Se encontró una correlación inter-observador e intraobservador muy buena; destacando que las mejores puntuaciones las obtuvieron los de 3º curso (al tener mayor experiencia); y que en los tres cursos, la mayoría de estudiantes mejoraron sus puntuaciones al repetir las visualizaciones, reflejando estar más familiarizados con la clasificación.

Tabla 3. Concordancia diagnóstica ^a en la clasificación de la sutura palatina entre estudiantes del Máster de Ortodoncia divididos por cursos y el observador *gold standard* ^b.

Curso	Estudiante	Inter-observador			Intra-observador		
		Basal (n=11)	1 semana (n=15)	2 semanas (n=15)	Basal vs 1 semana (n=11)	Basal vs 2 semanas (n=11)	1 sem vs 2 semanas (n=15)
1º Curso	1	0.85	0.86	0.75	0.86	0.84	0.67
	2	0.51	0.69	0.72	0.86	0.97	0.92
	3	0.84	0.61	0.72	0.54	0.62	0.85
	4	0.87	0.70	0.91	0.59	0.91	0.71
	5	0.87	0.84	0.86	0.85	0.95	0.93
	6	0.39	0.58	0.63	0.47	0.56	0.82
2º Curso	7	0.84	0.75	0.89	0.29	0.78	0.68
	8	0.65	0.62	0.88	0.76	0.93	0.81
	9	0.50	0.68	0.71	0.75	0.80	0.90
	10	0.75	0.83	0.94	0.60	0.86	0.87
	11	0.53	0.92	0.96	0.55	0.50	0.96
	12	0.53	0.94	0.88	0.54	0.50	0.90
3º Curso	13	0.86	0.98	1.00	0.85	0.87	0.98
	14	0.72	0.83	0.96	0.73	0.76	0.85
	15	0.90	0.80	0.98	0.69	0.90	0.77
	16	0.76	0.96	0.95	0.77	0.77	0.91
	17	0.62	0.86	0.87	0.78	0.79	0.95
	18	0.81	0.86	0.88	0.75	0.77	0.98

a: Las cifras dentro son del kappa ponderado cuadráticamente. Se pueden interpretar como <0.20 Pobre, 0.21-0.40 Aceptable, 0.41-0.60 Moderada, 0.61-0.80 Buena y 0.81-1.00 Casi Perfecta (Altman DG. *Practical statistics for medical research*. London: Chapman and Hall, 1991).

b: La distribución porcentual de las 15 observaciones para el observador *gold standard* son: A (3=20.0%), B (3=20.0%), C (4=26.7%), D (3=20.0%) y E (2=13.3%).

También se quiso comparar la reproducibilidad de la clasificación de la *sutura palatina* y las etapas de fusión de la *sincondrosis esfeno-occipital* (Tablas 4 y 5). Para ello, se les mostraron 12 imágenes de cada una de las variables (*MPS* y *SOS*) a 7 observadores, 3 de ellos ortodoncistas con dedicación exclusiva de más de cinco años y 4 estudiantes de quinto curso de odontología.

Se encontró una correlación inter-observador e intraobservador muy buena; aunque fueron mayores en la variable *SOS* y en ambas variables se obtuvieron mejores puntuaciones por parte de los ortodoncistas.

Tabla 4. Concordancia diagnóstica ^a en la clasificación de la sincondrosis entre observadores y el observador gold standard ^b (n=12).

<i>Observador</i>	Inter-observador		Intra-observador
	<i>Basal</i>	<i>1 semana</i>	<i>Basal vs 1 semana</i>
1 (Estudiante)	0.94	0.96	0.94
2 (Estudiante)	0.96	0.96	0.94
3 (Estudiante)	0.96	0.96	0.97
4 (Estudiante)	0.96	0.98	0.94
5 (Ortodoncista)	1.00	0.98	0.98
6 (Ortodoncista)	1.00	1.00	1.00
7 (Ortodoncista)	0.98	1.00	0.98

a: Las cifras dentro son del kappa ponderado cuadráticamente. Se pueden interpretar como <0.20 Pobre, 0.21-0.40 Aceptable, 0.41-0.60 Moderada, 0.61-0.80 Buena y 0.81-1.00 Casi Perfecta (Altman DG. Practical statistics for medical research. London: Chapman and Hall, 1991).

b: La distribución porcentual de las 12 observaciones para el observador *gold standard* es: A (2=16.7%), B (3=25.0%), C (2=16.7%), D (2=16.7%) y E (3=25.0%).

Tabla 5. Concordancia diagnóstica ^a en la clasificación de la sutura palatina entre observadores y el observador gold standard ^b (n=12).

<i>Observador</i>	Inter-observador		Intra-observador
	<i>Basal</i>	<i>1 semana</i>	<i>Basal vs 1 semana</i>
1 (Estudiante)	0.92	0.98	0.96
2 (Estudiante)	0.93	0.92	0.96
3 (Estudiante)	0.98	0.92	0.91
4 (Estudiante)	0.95	0.95	0.96
5 (Ortodoncista)	0.98	1.00	0.98
6 (Ortodoncista)	0.98	0.97	0.96
7 (Ortodoncista)	0.97	0.98	0.95

a: Las cifras dentro son del kappa ponderado cuadráticamente. Se pueden interpretar como <0.20 Pobre, 0.21-0.40 Aceptable, 0.41-0.60 Moderada, 0.61-0.80 Buena y 0.81-1.00 Casi Perfecta (Altman DG. Practical statistics for medical research. London: Chapman and Hall, 1991).

b: La distribución porcentual de las 12 observaciones para el observador *gold standard* es: A (2=16.7%), B (2=16.7%), C (4=33.3%), D (2=16.7%) y E (2=16.7%)

Estadística descriptiva general

Se analizaron las 13 variables anteriormente nombradas. La estadística descriptiva general donde se incluyen el número de muestras analizadas, su porcentaje y mediana, así como su relación con *MPS* se detallan en las Tablas 6 y 7.

Se muestran las tasas de prevalencia de las distintas variables y su asociación con las *etapas de maduración de la sutura*.

Tabla 6. Tamaño muestral, mediana y desviación estándar (DE) de las variables analizadas en el estudio.

Todas las categorías <i>MPSM</i>			
<i>Variable</i>	<i>n (%↓)ª</i>	<i>% distribución^b</i>	<i>mediana</i>
Total 95%-IC	382 (100)	8-19-31-17-24	C
Edad (años)		p<0.001	
4-<11	55 (14)	49-47-4-0-0	B
11-<14	89 (23)	6-44-44-6-1	C
14-<18	108 (28)	0-5-52-30-14	C
≥ 18	130 (34)	0-1-18-22-59	E
Sexo		p=0.048	
Mujeres	230 (60)	7-15-35-16-27	C
Hombres	152 (40)	11-24-26-19-20	C
Etapa CVM		p<0.001	
CS1	40 (11)	60-38-2-0-0	A
CS2	34 (9)	21-76-3-0-0	B
CS3	36 (9)	3-53-44-0-0	B
CS4	26 (7)	0-23-62-15-0	C
CS5	93 (24)	0-3-60-30-7	C
CS6	153 (40)	0-2-20-22-57	E
Etapa SOS		p<0.001	
1	48 (16)	50-46-4-0-0	A-B
2	27 (9)	7-74-19-0-0	B
3	38 (13)	0-29-61-10-0	C
4	65 (21)	0-6-58-29-6	C
5	126 (41)	0-2-16-20-62	E

Tabla 6. a: Para la variable *etapa SOS*, el número de pacientes se redujo a 304; **b:** Distribución porcentual (sin decimales) de las etapas A, B, C, D y E. Por ejemplo, para todos, las cifras son, respectivamente, 8% (A), 19% (B), etc. Se calculan los valores p con Kruskal-Wallis para todas las variables, excepto la variable *sexo* que se realizó con la prueba de Mann-Whitney.

En la Tabla 6, se encontró que entre los 14 a 18 años, un 52% de los pacientes presentaban una etapa C y un 30% una etapa D, existiendo solamente un 14% con etapa E.

Se halló del total de pacientes, que el 24% de ellos presentaron la osificación de la sutura palatina en etapa E, y solo un 8% en estadio A.

Se determinó que del total de pacientes, el 31% presentaron la osificación de la sutura palatina en estadio C, seguido del estadio E con 24% y 19% B.

Al relacionar la maduración ósea de las vértebras cervicales y la osificación de la sutura palatina media, un 44% presentaron una relación de etapa CS3-C y un 53% una relación de etapa CS3-B. Destaca que hasta el estadio CS5 se siguen encontrando un 60% en etapa C (relación de etapa CS5-C) y se reduce drásticamente en el estadio CS6, que ya sólo un 20% se encuentran en etapa C frente al 57% en etapa E.

En cuanto a la asociación de las etapas de fusión de la sincondrosis eseno-occipital y la sutura palatina, se observó que había un 61% de etapa 3-C y un 29% etapa 3-C; mientras que de etapa 2-C solamente un 19%.

Se encontró que en la clase III esquelética era más prevalente la etapa B y C, frente a la clase II y I que predomina más la etapa C. En cuanto al patrón facial, se puede determinar que los pacientes braquifaciales presentan una maduración más temprana, encontrándose menor porcentaje en etapas prepuberales (como A y B) y las más frecuentes la C y la E (Tabla 7).

Tabla 7. Tamaño muestral, mediana y desviación estándar (DE) de las variables cefalométricas analizadas en el estudio.

Todas las categorías MPS			
Variables Cefalométricas	n (%)^a	% distribución^b	mediana
Total 95%-IC	215 (100)	8-19-31-17-24	C
Convexidad		p=0.865	
Clase II	88 (41)	10-24-43-11-11	C
Clase I	106 (49)	13-23-42-15-7	C
Clase III	21 (10)	14-33-24-14-14	C
ANB ^		p=0.640	
Clase II	112 (52)	13-24-42-13-8	C
Clase I	69 (32)	10-23-39-17-10	C
Clase III	34 (16)	15-26-38-6-15	C
WITS		p=0.165	
Clase II	63 (29)	6-29-40-19-6	C
Clase I	85 (40)	7-23-46-13-11	C
Clase III	67 (31)	24-21-34-9-12	C
SN-GoGn ^		p=0.027	
Braquifacial	54 (25)	4-15-56-13-13	C
Mesofacial	57 (26)	14-32-37-10-7	C
Dolicofacial	104 (48)	15-25-35-15-10	C
AFP/AFA		p=0.014	
Braquifacial	111 (52)	5-22-47-15-11	C
Mesofacial	78 (36)	19-29-33-9-9	C
Dolicofacial	26 (12)	19-19-35-19-8	C
Polígono de Jarabak		p=0.020	
Braquifacial	52 (24)	4-15-54-13-13	C
Mesofacial	140 (65)	14-29-38-11-9	C
Dolicofacial	23 (11)	17-17-26-30-9	C
VERT		p=0.378	
Braquifacial	85 (39)	9-19-48-13-11	C
Mesofacial	90 (42)	11-30-39-9-11	C
Dolicofacial	40 (19)	20-22-28-25-5	C

Tabla 7. a: Para las variables cefalométricas, el número de pacientes se redujo a 215; **b:** Distribución porcentual (sin decimales) de las etapas A, B, C, D y E. Por ejemplo, para todos, las cifras son, respectivamente, 8% (A), 19% (B), etc. Se calculan los valores p con Kruskal-Wallis para todas las variables.

Estadística inferencial

A continuación, se describe la estadística inferencial realizada. Se analizaron las variables *SOS*, *CVM*, *sexo*, *edad* y distintas *variables cefalométricas* (correspondientes al patrón de crecimiento sagital y vertical) con la variable *MPS*, calculando los valores *p* con la prueba de Kruskal-Wallis para todas las variables, excepto para la variable *sexo* que se realizó con la prueba de Mann-Whitney. Para la asociación lineal, los valores *p* se calcularon con la prueba de Mantel Haenszel.

Se encontró que *CVM*, *edad* y *SOS* mostraron fuertes correlaciones con la etapa de maduración de la sutura palatina media ($p < 0,001$) tanto en las etapas A y B como en las etapas A, B y C.

A mayor *edad* y mayor grado de madurez del *CVM* y *SOS* disminuye el porcentaje de sujetos que presentan una etapa A o B o etapas A, B o C de *MPS*.

Asociación de la variable MPSM con la variable edad

La variable *edad* (Tabla 8), al aplicar la prueba estadística mostró un $p < 0,001$ determinando que sí hubo diferencias estadísticamente significativas en la evaluación de la maduración ósea de la sutura palatina según la *edad* para las etapas A y B, y para las etapas A, B y C.

La distribución de las etapas de maduración respecto a la *edad* fue variable, especialmente conforme aumentaba esta última. Ningún sujeto en el grupo de 4-10 años presentó osificación de la sutura (96% se encontraban en una etapa A o B).

Encontramos mayor variabilidad en el grupo de 11-13 años con solo 49% en A o B, aunque encontrándose un 93% en A, B o C; y en el de 14-17 años, con 5% en A o B y 56% en A, B o C.

Relación Variables Edad y MPSM

Tabla 8. Distribución según grupos de la variable edad analizada en el estudio.

Variable	n	Etapa Sutura Palatina (%) ^a					Mediana	%A y B ^{b,c}	%A, B y C ^{c,d}
		A	B	C	D	E			
Total	382	8	19	31	17	24	C	27.2	58.6

Edad (años)	p<0.001						p<0.001	p<0.001	
4-10	55	49	47	4	0	0	B	96	100
11-13	89	6	44	44	6	1	C	49	93
14-17	108	0	5	52	30	14	C	5	56
18-25	36	0	6	39	39	17	D	6	44
26-49	42	0	0	12	26	62	E	0	12
≥ 50	52	0	0	8	6	86	E	0	8

a: Distribución porcentual (sin decimales) de las etapas A, B, C, D y E. Se calculan los valores p con Kruskal-Wallis para todas las variables, excepto la variable sexo que se realizó con la prueba de Mann Whitney. **b:** Estos porcentajes corresponden a la suma de las etapas A y B de la columna “% distribución”. **c:** valores p se calcularon con el test de Mantel Haenszel. **d:** Estos porcentajes corresponden a la suma de las etapas A, B y C de la columna de “% distribución”.

En la tabla 9, que se muestra a continuación, se ha disminuido los grupos de edad a cuatro, abarcando el último a los pacientes \geq de 18 años en adelante.

Es destacable qué en los mayores de 18 años, aunque la mayoría (59%) presentaban un estadio E con osificación de la sutura, encontramos un 18% con una etapa C.

Tabla 9. Distribución según grupos de la variable edad (con disminución de los grupos) analizada en el estudio.

Variable	N (%↓)	Etapa Sutura Palatina (%) ^a					Mediana	%A y B ^{b,c}	%A, B y C ^{c,d}
		A	B	C	D	E			
Total IC 95%	382 (100)	8	19	31	17	24	C	27 (23-32)	59 (54-64)

Edad (años), n (%)	p<0.001						p<0.001	p<0.001	
4 <11	55 (14)	49	47	4	0	0	B	96	100
11 <14	89 (23)	6	44	44	6	1	C	49	93
14 <18	108 (28)	0	5	52	30	14	C	5	56
≥18	130 (34)	0	1	18	22	59	E	1	19

a: Distribución porcentual (sin decimales) de las etapas A, B, C, D y E. Se calculan los valores p con Kruskal-Wallis para todas las variables, excepto la variable sexo que se realizó con la prueba de Mann Whitney. **b:** Estos porcentajes corresponden a la suma de las etapas A y B de la columna “% distribución”. **c:** valores p se calcularon con el test de Mantel Haenszel. **d:** Estos porcentajes corresponden a la suma de las etapas A, B y C de la columna de “% distribución”.

Asociación de la variable MPSM con la variable sexo

Se estudió si la variable *sexo* influyó en la variable *MPS*. La siguiente tabla (Tabla 10) recoge la mediana de la variable en las dos categorías (M=Mujer y H=Hombre) y el valor p con su nivel de significación del test aplicado (test no paramétrico de Mann Whitney).

Relación Variables Sexo y MPSM

Tabla 10. Distribución según grupos, de la variable sexo analizada en el estudio.

Variable	n	Etapa Sutura Palatina (%) ^a					Mediana	%A y B ^{b,c}	%A, B y C ^{c,d}
		A	B	C	D	E			
Total IC 95%	382 (100)	8	19	31	17	24	C	27 (23-32)	59 (54-64)

Sexo	p=0.048							p=0.006	p=0.543
	Hombre	152 (40)	10	24	26	19	20	C	35
Mujer	230 (60)	7	15	35	16	27	C	22	57

a: Distribución porcentual (sin decimales) de las etapas A, B, C, D y E. Se calculan los valores p con Kruskal-Wallis para todas las variables, excepto la variable sexo que se realizó con la prueba de Mann Whitney. **b:** Estos porcentajes corresponden a la suma de las etapas A y B de la columna “% distribución”. **c:** valores p se calcularon con el test de Mantel Haenszel. **d:** Estos porcentajes corresponden a la suma de las etapas A, B y C de la columna de “% distribución”.

El sexo tuvo una correlación baja aunque significativa pero solo a nivel de las etapas A y B ($p=0,006$).

Se observó que en edades tempranas si guardaba relación la etapa de maduración de la sutura y el sexo (a nivel de etapas A y B); aunque las mujeres presentaron un grado de maduración más avanzado, especialmente marcado a partir de los 11-14 años. Entonces se puede deducir, que el sexo femenino presenta una maduración ósea de la sutura, más temprana en comparación al sexo masculino, en menores de 15 años.

Asociación de variable MPSM con la variable CVM

Se estudió si la variable CVM influyó en la variable MPS. La siguiente tabla (Tabla 11) recoge la mediana y el valor p con su nivel de significación del test aplicado.

Se encontró que en CS1 predomino la etapa A (60%) y en CS2 el 76% presentaban una etapa B.

En CS3, ya algunos sujetos presentan una etapa C (44%) pero permaneciendo el 100% en las etapas A, B y C. Existe mayor variabilidad a partir de CS4, se encontraron algunos sujetos con etapa D (15%); aunque predominando las etapas A, B y C (85%).

Los sujetos que tenían un CS5, el 63% estaban en una etapa A, B o C, pero ya existía un 30% con D y un 7% E (donde la fusión de la sutura se ha producido parcial o totalmente).

Relación Variables CVM y MPSM

Tabla 11. Distribución según grupos de la variable CVM analizada en el estudio. Test de la U de Mann Whitney de la variable MPS con la variable CVM. Se consideró estadísticamente significativo (*) cuando $p < 0.05$.

Variable	n	Etapa Sutura Palatina (%) ^a					Mediana	%A y B ^{b,c}	%A, B y C ^{c,d}
		A	B	C	D	E			
Total	382 (100)	8	19	31	17	24	C	27 (23-32)	59 (54-64)
IC 95%									
CVM (Etapa Vertebral)	p<0.001							p<0.001	p<0.001
CS1	40 (11)	60	38	2	0	0	A	97	100
CS2	34 (9)	21	76	3	0	0	B	97	100
CS3	36 (9)	3	53	44	0	0	B	56	100
CS4	26 (7)	0	23	62	15	0	C	23	85
CS5	93 (24)	0	3	60	30	7	C	3	63
CS6	153 (40)	0	2	20	22	57	E	2	22

a: Distribución porcentual (sin decimales) de las etapas A, B, C, D y E. Se calculan los valores p con Kruskal-Wallis para todas las variables, excepto la variable sexo que se realizó con la prueba de Mann Whitney. **b:** Estos porcentajes corresponden a la suma de las etapas A y B de la columna “% distribución”. **c:** valores p se calcularon con el test de Mantel Haenszel. **d:** Estos porcentajes corresponden a la suma de las etapas A, B y C de la columna de “% distribución”.

Se concluye que: (Figura 21)

- CVM mostró una asociación estadísticamente significativa ($p < 0.001$) con las etapas A y B, y con las etapas A, B y C.
- Se puede afirmar que CS1 y CS2 en CVM coinciden con las etapas A y B (97 %).
- En CS3, el 100% permanecen en las etapas A, B y C.
- A partir de CS4, existe una mayor variabilidad en la distribución de las etapas.

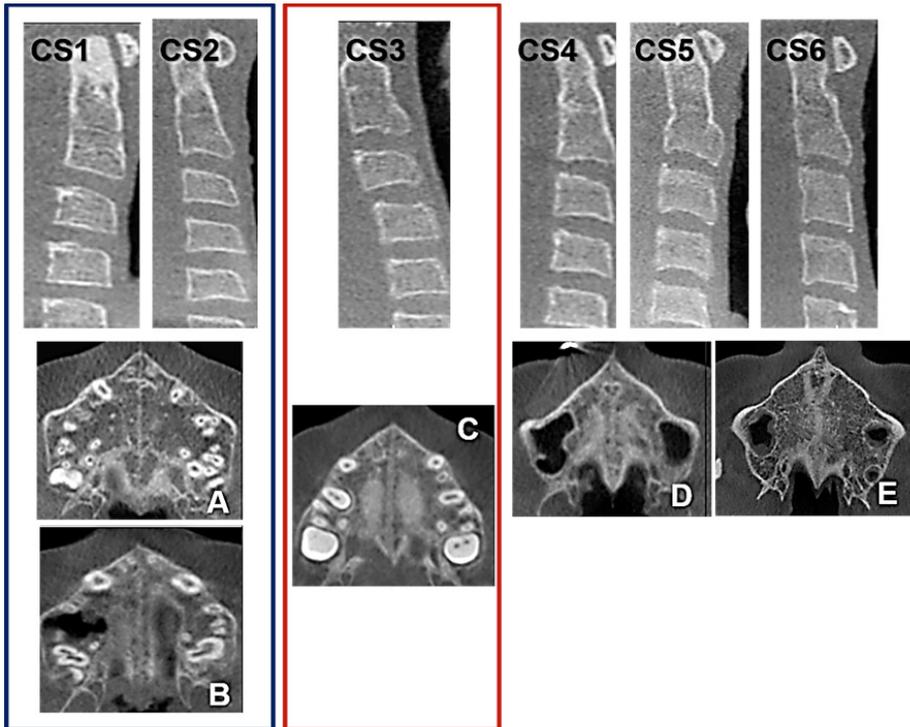


Figura 21. Representación esquemática de la asociación encontrada entre las etapas CVM y MPSM. Destacando que hasta la etapa CS3, existe una estrecha relación con las etapas A, B y C de MPS; siendo hasta dicha etapa un parámetro útil para predecir la etapa de MPSM.

Asociación de la variable cuantitativa MPS con la variable SOS

Se estudió si la variable SOS influyó en la variable cualitativa MPS. La siguiente tabla (Tabla 12) recoge la mediana y la significatividad del test aplicado.

Se encontró que en la etapa 1 predominó la etapa A (50%) y la etapa B (46%), en la 2 el 74% presentaban una etapa B. En etapa 3, la mayoría de sujetos presentaban una etapa C (61%).

Existe mayor variabilidad a partir de la etapa 4 de SOS, donde se encontraron algunos sujetos con etapa D (29%) y aparecen algunos con la etapa E (6%); aunque sigue predominando la etapa C (58%).

Los sujetos que tenían una etapa 5, el 62% estaban en una etapa E, aunque aún existía un 2% con B y un 16% con C (donde la fusión de la sutura todavía no se ha producido).

Relación de la variable MPS con la variable SOS

Tabla 12. Distribución según grupos de la variable SOS analizada en el estudio.

Variable	n	Etapa Sutura Palatina (%) ^a					Mediana	%A y B ^{b,c}	%A, B y C ^{c,d}
		A	B	C	D	E			
Total	304 (100)	8	19	31	17	24	C	27	59
SOS		p<0.001						p<0.001	p<0.001
1	48 (16)	50	46	4	0	0	A-B	96	100
2	27 (9)	7	74	19	0	0	B	81	100
3	38 (12)	0	29	61	10	0	C	29	89
4	65 (21)	0	6	58	29	6	C	6	65
5	126 (42)	0	2	16	20	62	E	2	18

a: Distribución porcentual (sin decimales) de las etapas A, B, C, D y E. Se calculan los valores p con Kruskal-Wallis para todas las variables, excepto la variable sexo que se realizó con la prueba de Mann Whitney. **b:** Estos porcentajes corresponden a la suma de las etapas A y B de la columna “% distribución”. **c:** valores p se calcularon con el test de Mantel Haenszel. **d:** Estos porcentajes corresponden a la suma de las etapas A, B y C de la columna de “% distribución”.

Se concluye que:

- SOS tiene un valor estadísticamente significativo ($p < 0.001$) en la asociación con las etapas A y B, y con las etapas A, B y C de MPS.
- Se puede afirmar que la etapa 1 en SOS coincide con las etapas A y B (96 %).
- Las etapas 1 y 2 coinciden un 100% con etapas A, B y C de MPS.
- En la etapa 3, el 89% permanecen en las etapas A, B y C.
- Hasta la etapa 4, se encontró mayor frecuencia de las etapas A, B y C con un 65%.

Asociación de la variable cuantitativa MPS con las variables cefalométricas que determinan la clase esquelética

La siguiente tabla (Tabla 13) recoge la correlación apropiada en cada caso (test de Mantel Haenszel) entre la variable cualitativa MPS con las variables cefalométricas de Clase Esquelética.

Relación Variables Clase esquelética y MPS

Tabla 13. Distribución según grupos de la variable clase esquelética analizada en el estudio. Asociación de MPS con las variables referentes a la clase esquelética.

Variable	n (%)	Etapa Sutura Palatina (%) ^a					Mediana	%A y B ^{b,c}	%A, B y C ^{c,d}
		A	B	C	D	E			
Total	215 (100)	8	19	31	17	24	C	27 (23-32)	59 (54-64)
IC 95%									
Convexidad	p=0.865							p=0.341	p=0.691
Clase II	88 (41)	10	24	43	11	11	C	34	77
Clase I	106 (49)	13	23	42	15	7	C	36	77
Clase III	21 (10)	14	33	24	14	14	C	48	71
Variable	n (%)	Etapa Sutura Palatina (%) ^a					Mediana	%A y B ^{b,c}	%A, B y C ^{c,d}
Ángulo ANB	p=0.640								
Clase II	112 (52)	13	24	42	13	8	C	37	79
Clase I	69 (32)	10	23	39	17	10	C	33	72
Clase III	34 (16)	15	26	38	6	15	C	41	79
Variable	n (%)	Etapa Sutura Palatina (%) ^a					Mediana	%A y B ^{b,c}	%A, B y C ^{c,d}
WITS	p=0.165								
Clase II	63 (29)	6	29	40	19	6	C	35	75
Clase I	85 (40)	7	23	46	13	11	C	31	76
Clase III	67 (31)	24	21	34	9	12	C	45	79

a: Distribución porcentual (sin decimales) de las etapas A, B, C, D y E. Se calculan los valores p con Kruskal-Wallis para todas las variables, excepto la variable sexo que se realizó con la prueba de Mann Whitney. **b:** Estos porcentajes corresponden a la suma de las etapas A y B de la columna “% distribución”. **c:** valores p se calcularon con el test de Mantel Haenszel. **d:** Estos porcentajes corresponden a la suma de las etapas A, B y C de la columna de “% distribución”.

En relación a la clase esquelética, se encontró que ninguna de las variables empleadas (*Convexidad*, *Ángulo ANB* y *WITS*), mostró asociación con las etapas de maduración de la sutura.

Asociación de la variable cuantitativa MPS con las variables cefalométricas que determinan el patrón facial

Se estudió si las variables cefalométricas relacionadas con el *Patrón Facial* influyeron en la variable cualitativa *MPS* (Tabla 14).

Tabla 14. Distribución según grupos de la variable patrón facial analizada en el estudio. Asociación de MPS con las variables referentes al patrón facial.

<i>Variable</i>	<i>n (%)</i>	<i>Etapa Sutura Palatina (%)^a</i>						<i>Mediana</i>	<i>%A y B^{b,c}</i>	<i>%A, B y C^{c,d}</i>
Eje Facial		p=0.847							p=0.531	p=0.766
Braquifacial	27 (13)	15	26	37	15	7	C	41	78	
Mesofacial	123 (57)	12	24	41	11	11	C	37	77	
Dólicofacial	65 (30)	11	23	41	17	8	C	34	75	
<i>Variable</i>	<i>n (%)</i>	<i>Etapa Sutura Palatina (%)^a</i>						<i>Mediana</i>	<i>%A y B^{b,c}</i>	<i>%A, B y C^{c,d}</i>
Altura Facial Inferior		p=0.068							p=0.805	p=0.124
Braquifacial	92 (43)	8	25	47	11	10	C	33	79	
Mesofacial	111 (52)	16	25	36	14	8	C	41	77	
Dólicofacial	12 (5)	8	8	33	25	25	C-D	17	50	
<i>Variable</i>	<i>n (%)</i>	<i>Etapa Sutura Palatina (%)^a</i>						<i>Mediana</i>	<i>%A y B^{b,c}</i>	<i>%A, B y C^{c,d}</i>
Ángulo SNGoGn		p=0.027							p=0.017	p=0.942
Braquifacial	54 (25)	4	15	56	13	13	C	18	74	
Mesofacial	57 (26)	14	32	37	10	7	C	46	82	
Dólicofacial	104 (48)	15	25	35	15	10	C	40	75	
<i>Variable</i>	<i>n (%)</i>	<i>Etapa Sutura Palatina (%)^a</i>						<i>Mediana</i>	<i>%A y B^{b,c}</i>	<i>%A, B y C^{c,d}</i>
AFP/AFA		p=0.014							p=0.027	p=0.604
Braquifacial	111 (52)	5	22	47	15	11	C	27	74	
Mesofacial	78 (36)	19	29	33	9	9	C	49	82	
Dólicofacial	26 (12)	19	19	35	19	8	C	38	73	
<i>Variable</i>	<i>n (%)</i>	<i>Etapa Sutura Palatina (%)^a</i>						<i>Mediana</i>	<i>%A y B^{b,c}</i>	<i>%A, B y C^{c,d}</i>
Σ Polígono de Jarabak		p=0.020							p=0.036	p=0.625
Braquifacial	52 (24)	4	15	54	13	13	C	19	73	
Mesofacial	140 (65)	14	29	38	11	9	C	43	81	
Dólicofacial	23 (11)	17	17	26	30	9	C	35	61	
<i>Variable</i>	<i>n (%)</i>	<i>Etapa Sutura Palatina (%)^a</i>						<i>Mediana</i>	<i>%A y B^{b,c}</i>	<i>%A, B y C^{c,d}</i>
Altura Facial Total		p=0.747							p=0.492	p=0.515
Braquifacial	85 (39)	12	22	45	11	11	C	34	79	
Mesofacial	88 (41)	8	28	40	12	11	C	36	76	
Dólicofacial	42 (20)	21	19	33	21	5	C	40	74	
<i>Variable</i>	<i>n (%)</i>	<i>Etapa Sutura Palatina (%)^a</i>						<i>Mediana</i>	<i>%A y B^{b,c}</i>	<i>%A, B y C^{c,d}</i>
VERT		p=0.378							p=0.072	p=0.588
Braquifacial	85 (39)	9	19	48	13	11	C	28	76	
Mesofacial	90 (42)	11	30	39	9	11	C	41	80	
Dólicofacial	40 (19)	20	22	28	25	5	C	42	70	

a: Distribución porcentual (sin decimales) de las etapas A, B, C, D y E. Se calculan los valores p con Kruskal-Wallis para todas las variables, excepto la variable sexo que se realizó con la prueba de Mann Whitney. **b:** Estos porcentajes corresponden a la suma de las etapas A y B de la columna “% distribución”. **c:** valores p se calcularon con el test de Mantel Haenszel. **d:** Estos porcentajes corresponden a la suma de las etapas A, B y C de la columna de “% distribución”.

Los parámetros de patrón facial (*Ángulo SN-GoGn* y *AFP/AFA*) mostraron correlaciones relativamente débiles aunque significativas, pero solo a nivel de las etapas A y B de *MPS* ($p = 0,017$ y $p = 0,027$ respectivamente).

La pregunta crítica para los métodos discriminantes es si ofrecen una precisión suficiente para fines de identificación. Se construyeron modelos de regresión logística binaria múltiple, considerando solo variables estadísticamente significativas, pero eligiendo solo una de las variables de patrón para evitar cualquier efecto de colinealidad, ya que estas variables estaban altamente correlacionadas (r de Spearman $> 0,60$).

La edad-sexo o la etapa *CVM* se combinaron con el patrón de crecimiento facial (*ángulo SN-GoGn*), pero no la edad con *CVM*, ya que estos estaban altamente correlacionados (Spearman $r > 0,60$).

Los modelos logísticos se crearon para obtener diferentes modelos predictivos o algoritmos. Los datos se sometieron a una validación cruzada: la muestra se dividió aleatoriamente en diez grupos de igual tamaño; a su vez, cada grupo se eliminó del conjunto de datos y se ajustó un modelo de regresión logística utilizando los datos restantes.

El modelo estadístico ajustado se utilizó para hacer predicciones para los datos omitidos. Este proceso se repitió para cada uno de los diez grupos. De esta manera, los datos utilizados para hacer predicciones estaban separados de los datos utilizados para estimar el rendimiento del algoritmo en todos los casos, lo que proporcionaba estimaciones imparciales de los valores de discriminación.

Para analizar la capacidad discriminante de las variables o modelos logísticos, se construyó una curva ROC (Receiver Operating Characteristic) para cada uno, calculando las áreas y el error estándar mediante la prueba estadística de Wilcoxon⁽¹³⁸⁾. Primero, la asociación se probó mediante la prueba de asociación lineal Mantel-Haenszel, basada en una distribución de chi-cuadrado con un grado de libertad.

Diferentes áreas en las variables / modelos también se compararon de acuerdo con Hanley y McNeil ⁽¹³⁹⁾. Con la sensibilidad y la especificidad se calculó el índice de Youden, es decir, $Se + Sp - 1$ ⁽¹⁴⁰⁾, dando el punto de corte óptimo (valor máximo del índice).

Tabla 15. Valores Discriminativos para MPS (etapas A y B, o A, B y C) (n=382).

Variable	Área bajo la curva ROC				Índice de Youden ^d	Sensibilidad (%)		Especificidad (%)	
	n ^a	Área±se ^b	95%-CI	Comp. ^c		Se.	95%-IC	Sp.	95%-IC
MPS (A y B)									
Edad (años)	382	0.93±0.01	0.90-0.96	x	≤13 años	93	87-97	83	79-87
Sexo	382	0.58±0.03	0.51-0.64	y	Hombre	51	41-61	64	59-70
CVM	382	0.96±0.01	0.93-0.98	x	≤CS3	88	82-95	94	90-96
Ángulo SN-GoGn	215	0.58±0.04	0.51-0.66	y	Meso/Dólico	87	78-94	32	24-40
AFP/AFA	215	0.59±0.04	0.52-0.67	y	Meso/Dólico	62	50-72	59	51-67
Σ Polígono de Jarabak	215	0.58±0.04	0.50-0.65	y	Meso/Dólico	87	78-94	31	23-38
Unbias.logistic ^e	382	0.92±0.02	0.89-0.96	x	≥0.311	93	87-97	83	79-87
[Edad-Sexo]									
Unbias.logistic [Edad-Sexo and SN-GoGn [^]]	215	0.91±0.02	0.87-0.95	x	≥0.278	94	86-98	78	71-85
Unbias.logistic [CVM and SN-GoGn [^]]	215	0.93±0.02	0.89-0.97	x	≥0.155	95	87-99	83	77-89

MPS (A, B y C)									
Edad (años)	382	0.87±0.02	0.83-0.90	x	≤13 años	62	55-68	96	92-99
Sexo	382	0.52±0.03	0.46-0.57	y	Hombre	41	35-47	62	55-70
CVM	382	0.87±0.02	0.84-0.91	x	≤CS5	85	81-90	76	69-83
Unbiased logistic	382	0.83±0.02	0.79-0.87	x	≥0.905	62	55-68	96	92-99
[Edad-Sexo]									

a: Para el Ángulo SN-GoGn, AFP/AFA y Σ Polígono de Jarabak, número de muestra se redujo a 215 por la carencia de trazado cefalométrico.

b: De acuerdo con Hanley y McNeil (138).

c: Paired comparison de acuerdo con Hanley y McNeil (139). X e Y, p <0.05.

d: Índice de Youden, es decir, que potencia Se+Sp.

e: Unbiased logistic model.

Por ejemplo, la capacidad discriminativa de la edad para diferenciar pacientes con *etapas de sutura palatina A y B* es de 0.93 de área bajo la curva ROC, conduciendo a una sensibilidad del 93% y especificidad del 83%, para un punto de corte (índice de Youden) de edad de 13 años. Es decir, el clínico debe preguntarse si el paciente tiene menos de 13 años o no.

Como se puede ver en la Tabla 15, el área bajo la curva ROC fue > 0.8 para todas las variables/ modelos (excepto el sexo) sin diferencias significativas entre las variables/ modelos estudiados (excepto el sexo).

Todas las variables y modelos predictivos, con la excepción del sexo, pueden considerarse altamente precisas para detectar las etapas A y B de la sutura palatina, y útiles para algunos propósitos para detectar las etapas A, B y C ⁽¹⁴¹⁾.



DISCUSIÓN

DISCUSIÓN

En ortodoncia, a la hora de realizar un tratamiento, especialmente los que necesitan corrección ósea (centrándonos en esta investigación en la expansión maxilar), es muy importante considerar tanto el momento de inicio del tratamiento como la selección del protocolo de tratamiento más adecuado (método de expansión: ortopédico o quirúrgico y tipo de aparato). Todo esto, influirá en el grado de respuesta esquelética y dental que se obtendrá con la expansión.

El momento óptimo para el tratamiento de ortodoncia está relacionado con la madurez esquelética, identificando las fases específicas de crecimiento (pre-puberal, puberal y post-puberal), mediante distintos indicadores de crecimiento.

Desde la adolescencia hasta la edad adulta se produce un aumento de la interdigitación de las suturas circunmaxilares y su cierre progresivo; entre ellas la sutura palatina media, lo que provoca un aumento de la resistencia y disminución de la respuesta a la expansión esquelética (especialmente después de la pubertad), produciendo efectos secundarios no deseados^(16,31,142,143).

Este trabajo mostró que existen cuatro factores que guardan estrecha relación con la maduración de la sutura palatina media (MPS): la edad cronológica (la maduración de MPS aumento a medida que aumentó la edad); las etapas de maduración de las vértebras cervicales y la sincondrosis eseno-occipital (a mayor edad y mayor grado de madurez del CVM y SOS disminuye el porcentaje de sujetos que presentan una etapa A o B o etapas A, B o C de MPSM) y el patrón de crecimiento facial (los pacientes braquifaciales presentaron una madurez esquelética más temprana). En cambio, no se encontró asociación entre las etapas MPSM con la clase esquelética; y el sexo mostró una baja correlación, aunque significativa ($p = 0.006$) a nivel pre-puberal (en las etapas A y B, ya que

las mujeres alcanzaron la madurez ósea antes que los hombres, especialmente a partir de los 11-14 años; y después ambos sexos se igualan).

Sin embargo, como consecuencia de la naturaleza retrospectiva de nuestro estudio, hubo un par de limitaciones, como el no disponer de CBCT posterior con el que evaluar los cambios esqueléticos y dentoalveolares y su relación con su etapa de maduración de MPS.

Tradicionalmente, el criterio clínico habitual para realizar una ERM u optar por el tratamiento quirúrgico (MARPE o Le Fort I) ha sido la edad cronológica, sin embargo, no existe consenso en cuanto a donde establecer el límite de edad.

La fusión de las suturas maxilares se produce a los 14-15 años en las niñas y 15-16 años en los hombres⁽¹⁴⁴⁾; por lo que se cree que para obtener mayor efecto esquelético se debe realizar la ERM antes de dichas edades y que en edades posteriores se producirá más resultado a nivel dentoalveolar⁽¹⁴⁵⁾. Por ello, algunos autores recomiendan la opción quirúrgica en pacientes mayores de 16 años y otros, a partir de los 25 años⁽¹⁴⁶⁾. Además, se ha sugerido que también se debe considerar el sexo en la decisión del tipo de tratamiento; en mujeres hasta los 18 y hombres hasta los 21 años podría realizarse la ERM convencional, y en las mujeres mayores de 20 y los hombres mayores de 25 años se recomendaría un abordaje quirúrgico con SARME⁽¹⁴⁷⁾.

En cuanto a la relación del grado de maduración y fusión de la MPS con la edad cronológica, según la literatura⁽¹⁴⁸⁾, no se ha llegado a un consenso sobre esta cuestión; encontrándose que el inicio y velocidad de fusión de la sutura palatina media varían según los estudios y técnicas empleadas, desde la primera infancia hasta la tercera década de la vida^(16,28,29,64,149).

Angelier y cols.⁽⁷³⁾ mediante el uso del CBCT, realizaron una clasificación de los cambios morfológicos de la MPS según su grado de maduración en cinco etapas (A- E) y estudiaron la distribución de las diferentes etapas según su edad y sexo. Al igual que en dicho estudio, encontramos una gran variabilidad en el proceso

de fusión de la MPS. Todos los niños menores de 11 años (96%) presentaban etapas A y B y el 100% etapas A, B o C.

Recientemente, Jimenez-Valdivia y cols.⁽¹⁵⁰⁾ obtuvieron un mayor número de personas en las etapas A y B en el grupo de 10-15 años, aunque estas variaciones pueden ser atribuidas al rango de edad empleado. En nuestra investigación, al igual que en la de Angelieri y cols.⁽⁷³⁾, se dividieron en rangos más reducidos (menores de 11 años, 11 a menores de 14 y 14 a menores de 18 años de edad).

Encontramos la fusión de la MPS a partir de los 11 años en las niñas, 3 con una etapa D y 1 con la fusión completa de la sutura (etapa E); y en los niños fue a partir del grupo de 14 a 17 años cuando 2 de ellos presentaron una etapa E.

Esto corrobora el hecho de que las mujeres presentan una maduración más temprana; de los 11 a los 13 años, se observó en 4 de 50 niñas (8%) fusión de la MPS en el hueso palatino (etapa D) o en el hueso maxilar (etapa E), pero no se observó la fusión en ninguno de los 39 niños de este grupo de edad y únicamente 2 presentaron una etapa D.

En el estudio de Ladewig y cols.⁽⁸⁰⁾, ambos sexos tuvieron una alta prevalencia de la etapa C. A diferencia de nuestra investigación, qué en el grupo de edad de 11 a 14 años, encontramos la etapa C principalmente en las mujeres (28% hombres y 56% mujeres), lo que confirma que la maduración de la MPS ocurre antes en las mujeres que en los hombres.

La fusión de la MPS se observó en menores de 14 años (6% en etapa D y 1% en etapa E); resultados similares a otros estudios^(150,151) que observaron fusión de la MPS en pacientes de 11 a 15 años. Entre los 14-17 años, 20 de 74 mujeres (27%) presentaban una etapa D o una etapa E (17,6%), mientras que solo 2 hombres (5,9%) se encontraban en una etapa E. Estos resultados corroboran los hallazgos clínicos del fracaso de ERM en adolescentes tardíos, principalmente en mujeres y adultos.

En el grupo de edad de 11 a 13 años y en el de 13 a ≤ de 18 años, predominó la etapa C. En cambio, en el grupo de adultos jóvenes (mayores de 18 años),

se observó que la mayoría presentaba cierto grado de fusión; aunque el 19% aún mostraban una etapa B o C, haciéndolos posibles candidatos a una ERM convencional. Este hallazgo está acorde con otros estudios que también encontraron una gran variabilidad en ese grupo de edad^(73,75,80,81,108).

A diferencia del estudio de Angelieri y cols.⁽⁷³⁾, que encontró que los niños mayores de 11 años presentaban todas las etapas de maduración de la sutura; y coincidiendo con Tonello y cols.⁽⁷⁵⁾, nuestros resultados sugieren que la ERM puede realizarse con éxito en casi todos los niños menores de 13 años (el 93% de estos presentaban etapas A, B o C). En cambio, a partir de los 14 años, aunque el 56% se encontraba en las etapas A, B o C; sería recomendable una evaluación individual de la sutura.

No obstante, la edad cronológica no es o debe ser el único factor determinante para decidir la etapa de maduración de la sutura^(79,80); aunque nuestros resultados muestran que la edad cronológica es un parámetro muy preciso para determinar las etapas A y B (ya que el área bajo la curva ROC fue $> 0,9$).

Recientemente, Shin y cols.⁽¹⁵²⁾ estudiaron la influencia de varios parámetros en la apertura de la MPS y establecieron que la edad, la longitud del paladar y la etapa de MPSM pueden ser empleados como predictores de la expansión de la sutura palatina con MARPE en adultos jóvenes.

Sin embargo, otros autores como Isfeld y cols.⁽⁷⁸⁾, estudiaron este método de clasificación y encontraron que no presentaba una fiabilidad y reproducibilidad suficiente como para ser válido, siendo útil para su uso en investigación pero no tanto su empleo clínico. En cambio, otros autores establecen de limitaciones la calidad de la imagen o la experiencia previa en el método de clasificación⁽⁷⁶⁾.

El fracaso en la ERM puede provocar una inclinación vestibular acentuada y recesiones en los dientes posteriores, dolor severo, dehiscencias, ulceración y necrosis e inestabilidad de la expansión a largo plazo⁽⁷⁶⁾. Por esta razón, es muy importante tomar la decisión correcta en cuanto a si el paciente en particular es

adecuado para ERM convencional o si requerirá SARME y se considera esencial la aplicación de un método que nos permita la evaluación individual de las etapas de maduración de la sutura de forma fiable.

Se han propuesto numerosos métodos para evaluar la morfología y analizar el grado de maduración de la sutura palatina media; desde estudios *in vitro* con material de autopsia hasta estudios prospectivos con pacientes humanos *in vivo*. De ellos, se han identificado tres tipos de evaluaciones: cuantitativas, semicuantitativas y cualitativas⁽⁷⁶⁾. Pero no han sido validados, ya que la evaluación histológica es el *gold standard* para determinar la maduración de la sutura y requiere de una biopsia invasiva⁽⁷⁶⁾. Cada uno de estos métodos, presenta ciertas limitaciones y hay que valorarlos con cautela.

Los estudios histológicos han intentado cuantificar la maduración de la MPS mediante el índice de obliteración (IO) y el índice de interdigitación⁽¹⁶⁾. Sin embargo, estos estudios se realizaron con micro-TC; que no serían prácticos en la clínica habitual, ya que proporcionarían una dosis de radiación excesiva y un tiempo de exploración prolongado⁽²⁸⁾.

La maduración de la sutura palatina media se ha investigado en estudios histológicos y de tomografía computarizada con muestras de autopsia^(15,16,30). El método histológico a pesar de ser el que nos brinda más detalle, presenta como limitaciones el que se toman solo tres muestras; una en la zona anterior de la sutura palatina media, detrás de los incisivos; otra muestra en la zona media y la última en la zona posterior. En cada una se evalúa la osificación, la cual se inicia con la presencia de espículas óseas delgadas a través de la sutura, para posteriormente aumentar en número e interdigitarse hasta que se produce la fusión completa de la sutura^(16,29,64). Sin embargo, las observaciones en áreas restringidas pueden excluir una osificación incipiente o un mayor grado de osificación fuera de estas áreas. Por tanto, el análisis histológico y microrradiográfico representa solo una pequeña parte de toda la longitud anteroposterior de la sutura, aun cuando están disponibles varias secciones de un área.

Por otro lado, la inspección macroscópica permite solo la evaluación superficial de toda la longitud de la sutura, sin embargo, la morfología de la sutura interna no puede ser analizada.

Estudios semicuantitativos han intentado ser mínimamente invasivos, usando la ecografía como método de evaluación de la osificación de la sutura tras la expansión; no obstante, presentan el inconveniente de que el ultrasonido no es capaz de penetrar el hueso cortical. Además, aunque permiten la visualización de la formación ósea temprana (especialmente tras la expansión) y se trata de un método de bajo coste y no invasivo; la mayoría de ortodoncistas no se encuentran capacitados para emplearlo⁽¹⁵³⁾.

La evaluación con radiografías convencionales solo proporciona una imagen bidimensional de una estructura tridimensional^(64,154). La valoración de MPS basada en radiografías oclusales⁽⁶³⁾ tiene un potencial diagnóstico limitado debido a la superposición de estructuras anatómicas adyacentes⁽⁶⁴⁾. En las radiografías oclusales superiores normalmente el vómer puede proyectarse en el área de la sutura palatina media y dar una falsa interpretación radiográfica de los hallazgos reales de la morfología. A pesar de estas limitaciones, las radiografías oclusales superiores son hasta hoy la técnica frecuentemente usada en ortodoncia para la evaluación de la sutura palatina media después de la expansión rápida del maxilar^(63,64,154).

Por ello, en este contexto, el sistema de clasificación en imágenes CBCT propuesto por Angelieri y cols.⁽⁷³⁾ es de especial interés ya que proporciona una visualización en 3-D del complejo maxilofacial sin superposiciones, a un costo económico relativamente bajo, y con menor exposición a la radiación que una tomografía computarizada médica⁽⁷³⁾.

La evaluación a través de CBCT ha sido estudiada por múltiples autores en la actualidad para evaluar la fusión de la sutura palatina media y su morfología, ya que permite un análisis tridimensional sin la superposición de las estructuras adyacentes^(73,75,80,108,155-157).

Además, pueden evaluarse en las tres dimensiones los cambios que ocurren en las suturas circunmaxilares, así como la relación entre ellas^(54,86,121,158).

Por otro lado, conocer la asociación entre la etapa de maduración esquelética y el crecimiento craneofacial es de gran importancia cuando se planifica un tratamiento ortopédico/ortodóntico para la mayoría de las maloclusiones esqueléticas^(36,37). Se ha estudiado que el tratamiento ortopédico para la maloclusión de clase II induce un aumento de la longitud mandibular clínicamente relevante cuando se realiza durante la fase de crecimiento puberal⁽¹⁵⁹⁾, mientras que la maloclusión de clase III y las maloclusiones transversales requieren un tratamiento temprano⁽³⁶⁾. Además, tanto en el crecimiento facial hiperdivergente⁽¹⁶⁰⁾ como la mordida profunda⁽¹⁶¹⁾ se han mostrado resultados significativamente más favorables cuando se tratan durante la fase de crecimiento puberal.

Según la literatura previa^(81,106,108), se ha observado una mayor asociación entre la maduración de la sutura palatina media y la edad ósea (evaluada mediante radiografías de la mano-muñeca y/o las vértebras cervicales) que la edad cronológica.

Por este motivo, el presente estudio evaluó la asociación entre la maduración de la sutura y la CVM, ya que es un método de fácil aplicación y solo requiere una radiografía; que además es un registro habitual para el diagnóstico ortodóntico. También ofrece la ventaja de que las etapas son fáciles de identificar, especialmente las etapas CS1, CS2 y CS3; mientras que la identificación de las etapas de MPSM requieren una mayor habilidad y experiencia a la hora de obtener los cortes axiales de CBCT correctos y clasificarlos⁽⁷⁶⁾.

Nuestros resultados fueron consistentes con estudios previos⁽¹⁰⁶⁾, mostrando que existe una fuerte correlación entre CS1 y CS2 con las etapas A y B; encontrando que CS1 y CS2, en un 97% corresponden a las etapas A o B de la sutura palatina. Se observó una disminución en ese porcentaje al comenzar CS3, donde las etapas A o B corresponderían al 56%; aunque al 100% con las etapas

A, B o C. Sin embargo, cuando aumento la variabilidad fue a partir de CS4, donde A o B correspondería al 25% y al 85% con A, B o C. Este hallazgo concuerda con Angelieri y cols., al encontrar que CS3 se correlaciona con la etapa C de MPS⁽¹⁰⁶⁾.

Por tanto, se puede utilizar el CVM como un parámetro indicativo, mediante el cual una etapa <CS3 (índice de Youden) indica que encontraríamos las etapas A, B o C; siendo en estas cuando la ERM se puede realizar de manera efectiva.

Esto concuerda con los resultados obtenidos por Baccetti y cols.^(36,162) quienes encontraron que la ERM tenía un mayor efecto esquelético cuando se realizaba en las etapas pre-puberales (CVM 1 a 3). Sin embargo, para los pacientes en CS4 o más, el grado de fusión de la sutura debería evaluarse mediante un CBCT antes de tomar la decisión clínica de realizar ERM o SARME. Krukemeyer⁽¹⁵¹⁾ evaluó las etapas de fusión de la sutura palatina y CVM en relación con la disyunción maxilar, encontrando una correlación inversa, por lo que cuanto más temprana es la etapa de maduración, mayor es la expansión ósea producida con ERM, y con menor efecto dentoalveolar.

Los ortodoncistas emplean habitualmente el CVM para evaluar la madurez esquelética de sus pacientes; sin embargo, puede ser importante considerar si todas las etapas de CVM se logran en adultos⁽¹⁶³⁾. Aunque no se encontró en altas proporciones, el 33% de las mujeres y de los hombres entre 18 y 25 años presentaban CS5. Por lo tanto, el momento del tratamiento no debe depender únicamente de las etapas de CVM^(36,163).

También, la literatura sugiere que la duración e inicio de las etapas puberales presenta variaciones en los diferentes tipos de maloclusiones esqueléticas. La duración desde la etapa 3 de CVM a la etapa 4 para los pacientes de Clase II es aproximadamente 4 meses más corta en comparación con la de aquellos que presentan Clase I esquelética⁽³⁸⁾; y los pacientes con clase III tienen un crecimiento promedio de 5 meses más de duración que los de clase I⁽³⁹⁾.

Asimismo, el patrón de crecimiento craneofacial vertical podría estar asociado con el momento de inicio del crecimiento puberal⁽³⁷⁾, siendo en sujetos hiperdivergentes más precoz y en el caso de sujetos hipodivergentes más

tardío. Aunque hasta la fecha, se ha encontrado que dicha asociación sólo sería clínicamente relevante en casos extremos.

Puesto que la fase de crecimiento esquelético específica también depende de los diferentes patrones de crecimiento craneofacial sagital y vertical y tiene una relevancia clínica desde el punto de vista de momento óptimo de tratamiento; se analizó su posible relación con el grado de maduración de la sutura palatina.

La literatura previa ha establecido que la Clase III esquelética presenta un crecimiento tardío y de mayor duración^(39,164), pero, como indican nuestros resultados, esto solo ocurriría en el plano sagital. Los pacientes con Clase III no presentaron diferencias en la maduración de la sutura palatina respecto de los pacientes Clase II o Clase I esquelética; por lo que esta variable puede descartarse su asociación, y por tanto empleo como indicador del grado de fusión de la sutura.

En cambio, si se encontró una asociación positiva entre el patrón facial y el grado de maduración de la sutura palatina. Los sujetos braquifaciales mostraron una maduración más temprana. A pesar de que apenas se ha investigado esta asociación, estos resultados difieren de estudios previos que observaron un desarrollo más avanzado de CVM entre personas dólicofaciales^(37,165). Sin embargo, se ha encontrado que el crecimiento transversal no siempre coincide con la edad ósea según el CVM⁽¹⁶⁶⁾.

En este contexto, en lo que respecta al patrón facial, solo se puede recomendar como un parámetro útil para predecir las etapas A y B, y como un indicador adicional para la etapa C.

Es ampliamente conocido, que la resistencia a las fuerzas de la ERM especialmente en pacientes de edad avanzada, no depende únicamente de la interdigitación de la sutura palatina media; siendo la principal resistencia a nivel de las suturas pterigomaxilar y cigomatomaxilares (ZMS)^(54,158,167). Sin embargo, es razonable creer que los procesos de maduración de las suturas palatina media y el resto de suturas circunmaxilares se desarrollan paralelamente.

El estudio de Kajan y cols.⁽¹⁶⁸⁾ mostro que en los menores de 15 años, la ZMS estaba abierta en ambos lados en la mayoría de los casos, y que la frecuencia de la ZMS abierta disminuyó significativamente en el grupo de 20 a 25 años. Por lo tanto, el aumento de la edad tiene el mismo efecto sobre el cierre de ZMS y la sutura palatina. También encontraron que la apertura bilateral de la ZMS tiene una relación positiva con el grado de apertura en las regiones posterior y media de la sutura palatina media. Por tanto, recomiendan la evaluación de la maduración de la sutura palatina con CBCT antes de decidirse por un abordaje quirúrgico.

En nuestra investigación, se analizó el proceso de osificación de la sincondrosis esfeno-occipital (SOS), ya que es un indicador relativamente confiable de la edad esquelética debido a su fusión tardía en la etapa final de la maduración esquelética. La sincondrosis esfeno-occipital es de fácil localización y su estadio de maduración puede determinarse mediante CBCT. Por lo tanto, podría ser un nuevo método para determinar el estado de maduración esquelética de un paciente dado, cuando hay disponible un CBCT, por ejemplo, como un registro pre-tratamiento. Este enfoque también evitaría la necesidad de una radiografía adicional de mano-muñeca para determinar la etapa de crecimiento del sujeto. La sincondrosis esfeno-occipital.

Pudo verse que SOS tiene un valor estadísticamente significativo ($p < 0.001$) en la asociación con las etapas A y B, y con las etapas A, B y C de MPS. Las etapas 1 y 2 coinciden un 100% con etapas A, B y C de MPS; y en la etapa 3, el 89% permanecen en las etapas A, B y C.

Sin embargo, en la literatura actual existe disparidad con respecto a la edad reportada de la fusión completa de la sincondrosis, posiblemente debido a las diferentes metodologías empleadas, inconsistencias en el diseño de la investigación y la técnica de visualización empleada (cráneos secos, radiografía, histología). En los últimos años, se están realizando estudios con métodos de imagen digitales que facilitan la visualización y evaluación precisa de las diferentes etapas del proceso de fusión^(131,169).

El estado de fusión de la sincondrosis esfeno-occipital se evaluó con el sistema de cinco etapas de Basset y cols.⁽¹¹⁷⁾. Aunque se han propuesto otras clasificaciones, con este sistema de estadificación, las diferentes etapas son fácilmente definibles cuando se ven en el CBCT y reproducibles en términos de examen intra e interevaluador⁽¹¹⁷⁾.

En cuanto a las limitaciones del presente estudio y las posibles directrices para futuras investigaciones; aunque el estudio utilizó uno de los tamaños de muestra más grandes para evaluar la sutura palatina media con CBCT; no obstante, se trata de un estudio transversal realizado por un solo operador en un solo centro, por lo que existe riesgo de error sistemático. En base a esto, se debe interpretar la validez externa de los hallazgos con cuidado.

Además, a pesar de disponer de una amplia muestra, sería recomendable estudios adicionales con una distribución más homogénea de pacientes mesofaciales, dólicofaciales y braquifaciales; que aclararían mejor la asociación de MPS con el patrón facial. Se han encontrado estudios recientes que relacionan la ZMS con el patrón, indicando que existe mayor resistencia a nivel de esa sutura en pacientes dólicofaciales con hipoplasia maxilar.

A pesar de que nuestro estudio es de los pocos en los que se ha investigado la maduración de varias estructuras en una misma muestra; se deben realizar futuros estudios para conocer el grado de osificación de las suturas adyacentes a la sutura palatina, así como su influencia en la tasa de éxito de la expansión maxilar. También sería interesante, cuantificar la expansión obtenida y su relación con las etapas de osificación de dichas suturas; así como realizar un estudio longitudinal para evaluar los patrones de maduración en los diferentes individuos.

Los resultados actuales deben tratarse con precaución, ya que se necesitan más estudios con la evaluación histológica como gold standard para validar la clasificación propuesta por Angelieri y cols.⁽⁷³⁾. Sin embargo, esto requerirá una biopsia invasiva en pacientes de ortodoncia, lo que dificulta mucho su uso⁽⁷⁶⁾.

A pesar de estas limitaciones, los resultados actuales proporcionan información útil que podría usarse para diseñar un protocolo extendido para evaluar la maduración de la sutura palatina. Esto otorgaría al clínico una ayuda en la planificación del tratamiento y en la selección del tipo más efectivo de expansión maxilar para cada paciente.



CONCLUSIONES

CONCLUSIONES

1. Se produce un progreso simultáneo de la maduración de la SOS, MPS y CVM.
 - a. El tiempo de fusión de la sincondrosis esfeno-occipital y la etapa de maduración de la sutura palatina media están altamente correlacionadas.
 - b. Se encontró una correlación positiva entre las etapas de CVM, la edad cronológica y las etapas de MPSM.
2. Respecto a la relación de CVM con la maduración de la sutura palatina, se concluyó que:
 - a. CS1 y CS2 coinciden con las etapas A y B de la sutura (97%).
 - b. A partir de CS3, algunos presentaron etapa C (44%) pero todos (100%) permanecían en etapas A, B o C.
 - c. En CS4 y CS5 se encontró mayor variabilidad, recomendándose la evaluación de MPSM con el CBCT.
3. La distribución de las etapas de MPS mostró gran variabilidad con la edad, especialmente al avanzar esta.
 - a. Hasta los 13 años, el 93% presentaban etapas A, B o C.
 - b. A partir de los 14 años, aunque el 56% se encontraban en las etapas A, B o C, se recomienda una valoración individual.

4. La clase esquelética no tuvo asociación con el grado de maduración de la sutura palatina.
5. Las medidas cefalométricas de patrón facial (Ángulo SN-GoGn, AFP/AFA y Σ Polígono de Jarabak) mostraron una correlación débil con MPSM, aunque significativa para las etapas A y B ($p = 0.017$ y $p = 0.027$ respectivamente).
6. CVM y la edad cronológica pueden considerarse indicadores precisos de las etapas A, B y C de MPSM, y útiles como parámetros diagnósticos para predecir la respuesta esquelética con ERM
7. El acuerdo intra e interobservador fue muy bueno tanto para la evaluación de MPSM como para SOS; siendo ambos métodos reproducibles.



BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA

1. McNamara JA. Maxillary transverse deficiency. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2000;117(5):567–70.
2. McNamara JA. Early intervention in the transverse dimension: Is it worth the effort? *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2002;121(6):572–4.
3. McNamara JA Jr. Long-term adaptations to changes in the transverse dimension in children and adolescents: An overview. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2006;129(4):S71-S74.
4. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA. Treatment and posttreatment craniofacial changes after rapid maxillary expansion and facemask therapy. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2000; 118 (4):404–13.
5. McNamara JA Jr, Lione R, Franchi L, Angelieri F, Cevidan LHS, Darendeliler MA, et al. The role of rapid maxillary expansion in the promotion of oral and general health. *Prog Orthod.* 2015;16: 33.
6. Lagravere MO, Major PW, Flores-Mir C. Long-term skeletal changes with rapid maxillary expansion: A systematic review. *Angle Orthodontist.* 2005; 75 (6):1046-52.
7. Oh HS, Park J, Lagravere-vich MO. Comparison of traditional RPE with two types of micro-implant assisted RPE: CBCT study. *Semin Orthod.* 2019; 25 (1):60–8.
8. Wertz R, Dreskin M. Midpalatal suture opening: A normative study. *Am J Orthod.* 1977; 71 (4):367–81.
9. Bell RA. A review of maxillary expansion in relation to rate of expansion and patient's age. *Am J Orthod.* 1982;81(1):32–7.

10. Garrett BJ, Caruso JM, Rungcharassaeng K, Farrage JR, Kim JS, Taylor GD. Skeletal effects to the maxilla after rapid maxillary expansion assessed with cone-beam computed tomography. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2008;134:8–11.
11. Baysal A, Karadede I, Hekimoglu S, Ucar F, Ozer T, Veli I, et al. Evaluation of root resorption following rapid maxillary expansion using cone-beam computed tomography. *Angle Orthod.* 2012;82(3): 488–494.
12. Rungcharassaeng K, Caruso JM, Kan JY, Kim J, Taylor G. Factors affecting buccal bone changes of maxillary posterior teeth after rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2007;132(4):428.e1-8.
13. Leonardi R, Cutrera A, Barbato E. Rapid maxillary expansion affects the spheno-occipital synchondrosis in youngsters a study with low-dose computed tomography. *Angle Orthod.* 2010;80(1):106–10.
14. Leonardi R, Sicurezza E, Cutrera A, Barbato E. Early post-treatment changes of circumaxillary sutures in young patients treated with rapid maxillary expansion. *Angle Orthod.* 2011;81(1):36–41.
15. Melsen B. Palatal growth studied on human autopsy material. A histologic microradiographic study. *Am J Orthod.* 1975;68(1):42–54.
16. Persson M, Thilander B. Palatal suture closure in man from 15 to 35 years of age. *Am J Orthod.* 1977;72(1):42–52.
17. Basdra EK, Zöller JE, Komposch G. Surgically assisted rapid palatal expansion. *J Clin Orthod.* 1995; 29 (12):762-6.
18. Lagravere MO, Major PW, Flores-Mir C. Long-term dental arch changes after rapid maxillary expansion treatment: a systematic review. *Angle Orthod.* 2005;75(2):155–61.
19. Lanigan DT, Mintz SM. Complications of surgically assisted rapid palatal expansion: Review of the literature and report of a case. *J Oral Maxillofac Surg.* 2002; 60(1):104-10.

20. Cureton SL, Cuenin M. Surgically assisted rapid palatal expansion: Orthodontic preparation for clinical success. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1999;116(1):46–59.
21. Yu HS, Baik HS, Sung SJ, Kim KD, Cho YS. Three-dimensional finite-element analysis of maxillary protraction with and without rapid palatal expansion. *Eur J Orthod.* 2007; 29 (2):118-25.
22. Magnusson A, Bjerklin K, Nilsson P, Marcusson A. Surgically assisted rapid maxillary expansion: long-term stability. *Eur J Orthod.* 2009;31(2):142–9.
23. MacGinnis M, Chu H, Youssef G, Wu KW, Machado AW, Moon W. The effects of micro-implant assisted rapid palatal expansion (MARPE) on the nasomaxillary complex—a finite element method (FEM) analysis. *Prog Orthod.* 2014;15(1):52.
24. Ferraro-Bezerra M, Tavares RN, de Medeiros JR, Nogueira AS, Avelar RL, Studart Soares EC. Effects of Pterygomaxillary Separation on Skeletal and Dental Changes After Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion: A Single-Center, Double-Blind, Randomized Clinical Trial. *J Oral Maxillofac Surg.* 2018;76(4):844–53.
25. Wertz RA. Skeletal and dental changes accompanying rapid midpalatal suture opening. *Am J Orthod.* 1970;58:41–66.
26. Timms DJ. A study of basal movement with rapid maxillary expansion. *Am J Orthod.* 1980; 77(5):500-07.
27. Fricke-Zech S, Gruber RM, Dullin C, Zapf A, Kramer F-J, Kubein-Meesenburg D, et al. Measurement of the midpalatal suture width. *Angle Orthod.* 2012; 82(1):145–50.
28. Korbmacher H, Schilling A, Püschel K, Amling M, Kahl-Nieke B. Age-dependent Three-dimensional Micro-computed Tomography Analysis of the Human Midpalatal Suture. *J Orofac Orthop.* 2007;68(5):364–76.

29. Knaup B, Yildizhan F, Wehrbein H. Age-related changes in the midpalatal suture. A histomorphometric study. *J Orofac Orthop.* 2004;65(6):467–74.
30. Persson M, Magnusson BC, Thilander B. Sutural closure in rabbit and man: a morphological and histochemical study. *J Anat.* 1978;125:313–21.
31. Handelman C. Nonsurgical rapid maxillary alveolar expansion in adults: a clinical evaluation. *Angle Orthod.* 1997;67(4):291–308.
32. Handelman CS, Wang L, BeGole EA, Haas AJ. Nonsurgical Rapid Maxillary Expansion in Adults: Report on 47 Cases Using the Haas Expander. *Angle Orthod.* 2000;70:129–44.
33. Franchi L, Baccetti T, McNamara JA. Postpubertal assessment of treatment timing for maxillary expansion and protraction therapy followed by fixed appliances. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2004;126(5):555-68
34. Suri L, Taneja P. Surgically assisted rapid palatal expansion: A literature review. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2008;133(2): 290–302.
35. Fishman LS. Chronological versus skeletal age, an evaluation of craniofacial growth. *Angle Orthod.* 1979;49(3):181-189.
36. 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.
37. Perinetti G, Rosso L, Riatti R, Contardo L. Sagittal and vertical craniofacial growth pattern and timing of circumpubertal skeletal maturation: A multiple regression study. *BioMed Res Int.* 2016;2016:1728712.
38. Salazar-Lazo R, Arriola-Guillén LE, Flores-Mir C. Duration of the peak of adolescent growth spurt in class I and II malocclusion subjects using a cervical vertebrae maturation analysis. *Acta Odontol Latinoam.* 2014;27 (2): 96–101.

39. Kuc-Michalska M, Baccetti T. Duration of the pubertal peak in skeletal Class I and Class III subjects. *Angle Orthod.* 2010;80 (1): 54–57.
40. Enlow DH HM. *Essentials of facial growth.* 2nd edition. WB Saunders Company. 1996.
41. Madeline LA, Elster AD. Suture closure in the human chondrocranium: CT assessment. *Radiology.* 1995;196(3):747-756.
42. Shirley NR, Jantz RL. Spheno-Occipital Synchronosis Fusion in Modern Americans. *J Forensic Sci.* 2011; 56(3):580–5.
43. Sinanoglu A, Kocasarac HD, Noujeim M. Age estimation by an analysis of spheno-occipital synchronosis using cone-beam computed tomography. *Leg Med.* 2016;18:13–9.
44. Font JM. Tratamiento interceptivo en el maxilar. *Rev Esp Ortod.* 2002;32:109–22.
45. Suárez Quintanilla JA, Crespo Vázquez E, Crespo Abelleira A, Rodríguez Cobos M. *Morfología de la Cabeza Humana para el Grado de Odontología.* Universidad de Santiago de Compostela: Laboratorio Lacer 2010.
46. Standring, S., 2015. *Gray's Anatomy International Edition: The Anatomical Basis of Clinical Practice.* Elsevier Health Sciences.
47. Latarjet M. Huesos de la cara. En: Latarjet M, Ruiz Liard A. *Anatomía Humana.* 4a edición. Barcelona: Editorial Panamericana. 2004 p. 91-3
48. Jafari A, Shetty KS, Kumar M. Study of stress distribution and displacement of various craniofacial structures following application of transverse orthopedic forces-a three-dimensional FEM study. *Angle Orthod.* 2003;73(1):12-20.
49. Gautam P, Valiathan A, Adhikari R. Stress and displacement patterns in the craniofacial skeleton with rapid maxillary expansion: a finite element method study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2007;132(1):5.e1-5.e11.

50. Lione R, Ballanti F, Franchi L, Baccetti T, Cozza P. Treatment and posttreatment skeletal effects of rapid maxillary expansion studied with low-dose computed tomography in growing subjects. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2008;134(3):389–92
51. Baldawa RS, Bhad WA. Stress distribution analysis during an intermaxillary dysjunction: A 3-D FEM study of an adult human skull. *Ann Maxillofac Surg*. 2011;1(1):19-25.
52. Gardner GE, Kronman JH. Cranioskeletal displacements caused by rapid palatal expansion in the rhesus monkey. *Am J Orthod*. 1971;59(2):146-155.
53. da Silva Filho OG, Lara TS, de Almeida AM, da Silav HC. Evaluation of the midpalatal suture during rapid palatal expansion in children: a CT study. *J Clin Pediatr Dent*. 2005;29(3):231-238.
54. Cantarella D, Dominguez-Mompell R, Mallya SM, Moschik C, Pan HC, Miller J, et al. Changes in the midpalatal and pterygopalatine sutures induced by micro-implant-supported skeletal expander, analyzed with a novel 3D method based on CBCT imaging. *Prog Orthod*. 2017;18(1):34.
55. Cantarella D, Dominguez-Mompell R, Moschik C, Mallya SM, Pan HC, Alkahtani MR, et al. Midfacial changes in the coronal plane induced by microimplant-supported skeletal expander, studied with cone-beam computed tomography images. *Am J Orthod Dentofac Orthop* [Internet]. 2018;154(3):337–45.
56. Colak O, Paredes NA, Elkenawy I, Torres M, Bui J, Jahangiri S, et al. Tomographic assessment of palatal suture opening pattern and pterygopalatine suture disarticulation in the axial plane after midfacial skeletal expansion. *Prog Orthod*. 2020;21(1):21.
57. Ghoneima A, Abdel-Fattah E, Hartsfield J, El-Bedwehi A, Kamel A, Kula K. Effects of rapid maxillary expansion on the cranial and circummaxillary sutures. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2011;140(4):510-19.

58. Stepanko LS, Lagravère MO. Sphenoid bone changes in rapid maxillary expansion assessed with cone-beam computed tomography. *Korean J Orthod.* 2016;46(5):269–79.
59. Melsen B, Melsen F. The postnatal development of the palatomaxillary region studied on human autopsy material. *Am J Orthod.* 1982;82(4):329-42.
60. Garib DG, Henriques JF, Janson G, Freitas MR, Coelho RA. Rapid maxillary expansion--tooth tissue-borne versus tooth-borne expanders: a computed tomography evaluation of dentoskeletal effects. *Angle Orthod.* 2005;75(4):548-57.
61. da Silva Filho O. Identificación anatómica de estructuras del maxilar mediante 2 métodos de diagnóstico. Radiografía y tomografía computarizada. Estudio comparativo. *Rev Española Ortod.* 2005;35(1):55–68.
62. da Silva Filho OG, Boas MC, Capelozza Filho L. Rapid maxillary expansion in the primary and mixed dentitions: a cephalometric evaluation. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1991;100(2):171-179.
63. Revelo B, Fishman LS. Maturation evaluation of ossification of the midpalatal suture. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1994;105 (3):288–92.
64. Wehrbein H, Yildizhan F. The mid-palatal suture in young adults. A radiological-histological investigation. *Eur J Orthod.* 2001;23(2):105–14.
65. N'Guyen T, Ayral X, Vacher C. Radiographic and microscopic anatomy of the mid-palatal suture in the elderly. *Surg Radiol Anat.* 2008;30 (1):65–8.
66. Björk A, Helm S. Prediction of the age of maximum puberal growth in body height. *Angle Orthod.* 1967 ;37 (2):134–43.
67. Chung C-HH. Diagnosis of transverse problems. *Semin Orthod.* 2019; 25 (1):16–23.

68. Korn EL, Baumrind S. Transverse Development of the Human Jaws Between the Ages of 8.5 and 15.5 Years, Studied Longitudinally With Use of Implants. *J Dent Res*. 1990; 69(6):1298–306.
69. Björk A, Skieller V. Growth of the maxilla in three dimensions as revealed radiographically by the implant method. *Br J Orthod*. 1977;4(2):53–64.
70. Björk A, Skieller V. Growth in width of the maxilla studied by the implant method. *Scand J Plast Reconstr Surg*. 1974;8(1-2):26-33.
71. Baydas B, Yavuz I, Uslu H, Dagsuyu IM, Ceylan I. Nonsurgical rapid maxillary expansion effects on craniofacial structures in young adult females. A bone scintigraphy study. *Angle Orthod*. 2006;76(5):759-767.
72. Hahn W, Fricke-Zech S, Fialka-Fricke J, et al. Imaging of the midpalatal suture in a porcine model: flat-panel volume computed tomography compared with multislice computed tomography. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod*. 2009;108(3):443-449.
73. Angelieri F, Cevidanes LHS, Franchi L, Gonçalves JR, Benavides E, McNamara JA. Midpalatal suture maturation: Classification method for individual assessment before rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2013;144(5):759–69.
74. Cohen MM. Sutural biology and the correlates of craniosynostosis. *Am J Med Genet*. 1993; 47(5):581–616.
75. Tonello DL, Ladewig VM, Guedes FP, Conti AC, Almeida-Pedrin RR, Capelozza-Filho L. Midpalatal suture maturation in 11- to 15-year-olds: A cone-beam computed tomographic study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2017;152(1): 42–8.
76. Isfeld D, Lagravere M, Leon-Salazar V, Flores-Mir C. Novel methodologies and technologies to assess mid-palatal suture maturation: a systematic review. *Head Face Med*. 2017;13(1):13.

77. Barbosa NMV, Castro AC de, Conti F, Capelozza-Filho L, Almeida-Pedrin RR de, Cardoso M de A. Reliability and reproducibility of the method of assessment of midpalatal suture maturation: A tomographic study. *Angle Orthod.* 2019; 89 (1):71–7.
78. 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):252–61
79. Angelieri F, Franchi L, Cevidanes LHS, Gonçalves JR, Nieri M, Wolford LM, et al. Cone beam computed tomography evaluation of midpalatal suture maturation in adults. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2017;46(12):1557–61.
80. Ladewig VM, Capelozza-Filho L, Almeida-Pedrin RR, Guedes FP, Cardoso M, Conti AC. Tomographic evaluation of the maturation stage of the midpalatal suture in postadolescents. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2018;153(6): 818–24.
81. Kwak KH, Kim SS, Kim YI, Kim YD. Quantitative evaluation of midpalatal suture maturation via fractal analysis. *Korean J Orthod.* 2016;46(5): 323–30.
82. Abo Samra D, Hadad R. Midpalatal suture: evaluation of the morphological maturation stages via bone density. *Prog Orthod.* 2018;19(1):1–7.
83. Grünheid T, Larson CE, Larson BE. Midpalatal suture density ratio: A novel predictor of skeletal response to rapid maxillary expansion. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017;151(2):267–76.
84. Grünheid T, Larson BE, Larson CE. Authors' response. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2017;152(3):294–5.
85. Samra DA, Hadad R. Skeletal age-related changes of midpalatal suture densities in skeletal maxillary constriction patients: CBCT study. *J Contemp Dent Pract.* 2018;19 (10):1260–6.

86. Betlej A, Gandhi V, Upadhyay M, Allareddy V, Tadinada A, Yadav S. Variability of the maxillary suture maturation and density in the subjects with different sex and growth status. *Clin Anat*. 2020; 233 (5):ca.23621.
87. Hassel B, Farman AG. Skeletal maturation evaluation using cervical vertebrae. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 1995;107(1):58–66.
88. Satoh M. Bone age: assessment methods and clinical applications. *Clin Pediatr Endocrinol*. 2015; 24 (4):143–52.
89. Fishman LS. Radiographic evaluation of skeletal maturation. A clinically oriented method based on hand-wrist films. *Angle Orthod*. 1982; 52 (2):88–112.
90. Hägg U, Taranger J. Skeletal stages of the hand and wrist as indicators of the pubertal growth spurt. *Acta Odontol Scand*. 1980;38(3):187–200.
91. Flores-Mir C, Nebbe B, Major PW. Use of skeletal maturation based on hand-wrist radiographic analysis as a predictor of facial growth: A systematic review. *Angle Orthod*. 2004;74(1):118–24.
92. Franchi L, Baccetti T, McNamara JA. Mandibular growth as related to cervical vertebral maturation and body height. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2000;118(3):335–40.
93. Baccetti T, Franchi L, McNamara JA Jr. An improved version of the cervical vertebral maturation (CVM) method for the assessment of mandibular growth. *Angle Orthod*. 2002;72(4):316-23.
94. San Román P, Palma JC, Oteo MD, Nevado E. Skeletal maturation determined by cervical vertebrae development. *Eur J Orthod*. 2002; 24(3):303-11.
95. Lamparski DG. Skeletal age assessment utilizing cervical vertebrae. *Am J Orthod*. 1975;67(4):458–9.
96. Beit P, Peltomäki T, Schätzle M, Signorelli L, Patcas R. Evaluating the agreement of skeletal age assessment based on hand-wrist and cervical vertebrae radiography. *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2013;144 (6):838–47.

97. Proffit, W.R., Sarver, D.M. and Ackerman, J.L., 2013. Contemporary Orthodontics. 5th ed. St Louis: Mosby.
98. Perinetti G, Contardo L, Gabrieli P, Baccetti T, Di Lenarda R. Diagnostic performance of dental maturity for identification of skeletal maturation phase. *Eur J Orthod.* 2012;34(4):487–92.
99. Santiago RC, De Miranda Costa LF, Vitral RWF, Fraga MR, Bolognese AM, Maia LC. Cervical vertebral maturation as a biologic indicator of skeletal maturity: A systematic review. *Angle Orthod.* 2012;82(6):1123–31.
100. Cericato GO, Bittencourt MAV, Paranhos LR. Validity of the assessment method of skeletal maturation by cervical vertebrae: A systematic review and meta-analysis. *Dentomaxillofac Radiol.* 2015;44(4):20140270.
101. Gilli G. The assessment of skeletal maturation. *Horm Res.* 1996;45 Suppl 2:49-52.
102. Molinari L, Gasser T, Largo R. A comparison of skeletal maturity and growth. *Ann Hum Biol.* 2013;40(4):333-40.
103. Patcas R, Signorelli L, Peltomäki T, Schätzle M. Is the use of the cervical vertebrae maturation method justified to determine skeletal age? A comparison of radiation dose of two strategies for skeletal age estimation. *Eur J Orthod.* 2013;35(5):604-609.
104. Perinetti G, Perillo L, Franchi L, Di Lenarda R, Contardo L. Maturation of the middle phalanx of the third finger and cervical vertebrae: a comparative and diagnostic agreement study. *Orthod Craniofac Res.* 2014;17(4):270–9.
105. Perinetti G, Franchi L, Contardo L. Determination of timing of functional and interceptive orthodontic treatment: A critical approach to growth indicators. *J World Fed Orthod.* 2017;6(3):93–7.
106. Angelieri F, Franchi L, Cevidanes LHS, McNamara JA. Diagnostic performance of skeletal maturity for the assessment of midpalatal suture maturation. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2015;148(6):1010–6.

107. Mellion ZJ, Behrents RG, Johnston LE. The pattern of facial skeletal growth and its relationship to various common indexes of maturation. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 2013;143(6):845–54.
108. Jang HI, Kim SC, Chae JM, Kang KH, Cho JW, Chang NY, 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.
109. Proff P, Will F, Bokan I, Fanghänel J, Gedrange T. Cranial base features in skeletal class III patients. *Angle Orthod.* 2008;78(3):433-9.
110. Cendekiawan T, Wong RW., Rabie ABM. Relationships Between Cranial Base Synchondroses and Craniofacial Development: A Review. *Open Anat J.* 2010;2:67-75.
111. Coben SE. The spheno-occipital synchondrosis: The missing link between the profession's concept of craniofacial growth and orthodontic treatment. *Am J Orthod Dentofac Orthop.* 1998;114(6):709–12.
112. Abad V, Meyers JL, Weise M, Gafni RI, Barnes KM, Nilsson O, et al. The role of the resting zone in growth plate chondrogenesis. *Endocrinology.* 2002;143 (5):1851-57.
113. Tahiri Y, Paliga JT, Vossough A, Bartlett SP, Taylor JA. The Spheno-occipital synchondrosis fuses prematurely in patients with crouzon syndrome and midface hypoplasia compared with age- and gender-matched controls. *J Oral Maxillofac Surg.* 2014;72(6): 1173-79.
114. Can IO, Ekizoglu O, Hocaoglu E, Inci E, Sayin I, Kaya KH. Forensic age estimation by spheno-occipital synchondrosis fusion degree: Computed tomography analysis. *J Craniofac Surg.* 2014; 25(4):1212–6.
115. Sejrsen B, Jakobsen J, Skovgaard LT. Growth in the external cranial base evaluated on human dry skulls, using nerve canal openings as references. *Acta Odontol Scand.* 1997;55(6):356-64.

-
116. Hayashi I. Morphological relationship between the cranial base and dentofacial complex obtained by reconstructive computer tomographic images. *Eur J Orthod.* 2003;25(4):385-91
 117. Bassed RB, Briggs C, Drummer OH. Analysis of time of closure of the spheno-occipital synchondrosis using computed tomography. *Forensic Sci Int.* 2010; 200(1–3):161–4.
 118. Scheuer L, Black S. Skeletal Development and Ageing. In: *Developmental Juvenile Osteology.* 2000. p332–337.
 119. Schmeling A, Reisinger W, Geserick G, Olze A. Age estimation of unaccompanied minors. Part I. General considerations. *Forensic Sci Int.* 2006;159:S61-4.
 120. Olze A, Reisinger W, Geserick G, Schmeling A. Age estimation of unaccompanied minors. *Forensic Sci Int.* 2006;159:S65–7.
 121. Ok G, Sen Yilmaz B, Aksoy DO, Kucukkeles N. Maturity evaluation of orthodontically important anatomic structures with computed tomography. *Eur J Orthod.* 2020;159 Suppl (4):S65-7.
 122. Ingervall B, Thilander B. The Human Sphenooccipital Synchondrosis I. The Time of Closure Appraised Macroscopically. *Acta Odontol Scand.* 1972; 30 (3):349–56.
 123. Mann SS, Naidich TP, Towbin RB, Doundoulakis SH. Imaging of postnatal maturation of the skull base. *Neuroimaging Clin N Am.* 2000; 10 (1):1–21.
 124. Wheeler MD. Physical changes of puberty. *Endocrinol Metab Clin North Am.* 1991;20(1):1-14.
 125. Thilander B, Ingervall B. The human spheno-occipital synchondrosis II. A histological and microradiographic study of its growth. *Acta Odontol Scand.* 1973; 31 (5):323–34.

126. Melsen B. Time of closure of the spheno-occipital synchondrosis determined on dry skulls a radiographic craniometric study. *Acta Odontol Scand.* 1969;27(1–2):73–90.
127. Akhlaghi M, Taghaddosinejad F, Sheikhzadi A, Valizadeh B, Rezazadeh Shojaei SM. Age-at-death estimation based on the macroscopic examination of Spheno-occipital sutures. *J Forensic Leg Med.* 2010;17(6):304–8.
128. Okamoto K, Ito J, Tokiguchi S, Furusawa T. High-resolution CT findings in the development of the sphenooccipital synchondrosis. *Am J Neuroradiol.* 1996; 17(1):117-120.
129. Lottering N, Macgregor DM, Alston CL, Gregory LS. Ontogeny of the spheno-occipital synchondrosis in a modern Queensland, Australian population using computed tomography. *Am J Phys Anthropol.* 2015;157(1):42-57.
130. Kapila S, Conley RS, Harrell WE Jr. The current status of cone beam computed tomography imaging in orthodontics. *Dentomaxillofac Radiol.* 2011;40(1):24-34.
131. Franklin D, Flavel A. Brief Communication: Timing of spheno-occipital closure in modern Western Australians. *Am J Phys Anthropol.* 2014; 153(1):132-8.
132. Alhazmi A, Vargas E, Palomo JM, Hans M, Latimer B, Simpson S. Timing and rate of spheno-occipital synchondrosis closure and its relationship to puberty. *PLoS ONE.* 2017;12: e0183305
133. Demirturk Kocasarac H, Altan AB, Yerlikaya C, Sinanoglu A, Noujeim M. Correlation between spheno-occipital synchondrosis, dental age, chronological age and cervical vertebrae maturation in Turkish population: is there a link? *Acta Odontol Scand.* 2017; 75 (2):79–86
134. von Elm E, Altman DG, Egger M, Pocock SJ, Gøtzsche PC, Vandenbroucke JP. The Strengthening the Reporting of Observational Studies in Epidemiology (STROBE) statement: Guidelines for reporting observational studies. *J Clin Epidemiol.* 2008;61(4):344–9.

-
135. Landis JR, Koch GG. The Measurement of Observer Agreement for Categorical Data. *Biometrics*.1977;33(1):159-74.
 136. McNamara JA Jr, Franchi L, McClatchey L. Orthodontic and orthopedic expansion of the transverse dimension: A four decade perspective. *Semin Orthod*. 2019 ;25(1):3–15.
 137. Cohen J. *Statistical power analysis for the behavioral sciences*. Hillside, New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, 1998.
 138. Hanley JA, McNeil BJ. The meaning and use of the area under a receiver operating characteristic (ROC) curve. *Radiology*. 1982;143(1): 29–36.
 139. Hanley JA, McNeil BJ. A method of comparing the areas under receiver operating characteristic curves derived from the same cases. *Radiology*.1983;148(3): 839–43.
 140. Youden WJ. Index for rating diagnostic tests. *Cancer*. 1950;3(1): 32–5.
 141. Swets JA. Measuring the accuracy of diagnostic systems. *Science*.1988;240: 1285–93.
 142. Isaacson RJ, Ingram AH. Forces produced by rapid maxillary expansion II: Forces present during treatment. *Angle Orthod*. 1964;34(4): 261–70.
 143. Sayar G, Kılınc DD. Rapid maxillary expansion outcomes according to midpalatal suture maturation levels. *Prog Orthod*. 2019;20(1):27
 144. Haas AJ. Long-term posttreatment evaluation of rapid palatal expansion. *Angle Orthod*. 1980;50(3):189-217.
 145. Houston WJB. The analysis of errors in orthodontic measurements. *Am J Orthod*. 1983; 83(5):382-90.
 146. Timms DJ, Vero D. The relationship of rapid maxillary expansion to surgery with special reference to midpalatal synostosis. *Br J Oral Surg*. 1981;19 (3):180–96.

147. Alpern MC, Yurosko JJ. Rapid palatal expansion in adults with and without surgery. *Angle Orthodontist*. 1987;57(3):245-63.
148. Liu SY, Xu TM, Zou W. Effects of rapid maxillary expansion on the midpalatal suture: A systematic review. *Eur J Orthod*. 2015;37(6): 651–55.
149. N'Guyen T, Gorse FC, Vacher C. Anatomical modifications of the mid palatal suture during ageing: A radiographic study. *Surg Radiol Anat*. 2007;29(3):253–9.
150. 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.
151. Angelieri F, Franchi L, Cevidanes LHS, Bueno-Silva B, McNamara. JA. Prediction of rapid maxillary expansion by assessing the maturation of the midpalatal suture on cone beam CT. *Dental Press J Orthod*. 2016;21(6):115–25.
152. Shin H, Hwang C-J, Lee K-J, Choi YJ, Han S-S, Yu HS. Predictors of midpalatal suture expansion by miniscrew-assisted rapid palatal expansion in young adults: A preliminary study. *Korean J Orthod*. 2019;49(6):360-371.
153. Sumer, A. P., M. Ozer, M. Sumer, M. Danaci, F. Tokalak, and N. T. Telcioglu. Ultrasonography in the Evaluation of Midpalatal Suture in Surgically Assisted Rapid Maxillary Expansion. 2012 *J Craniofac Surg*. 2012; 23 (5): 1375-1377.
154. Thadani M, Shenoy U, Patle B, Kalra A, Goel S, Toshinawal N. Midpalatal Suture Ossification and Skeletal Maturation: A Comparative Computerized Tomographic Scan and Roentgenographic Study. *J Indian Acad Oral Med Radiol*. 2010;22:81–7.
155. Haghanifar S, Mahmoudi S, Foroughi R, Poorsattar Bejeh Mir A, Mesgarani A, Bijani A. Assessment of midpalatal suture ossification using cone-beam computed tomography. *Electron physician*. 2017; 9(3): 4035–41.

156. Bigliazzi R, Magalhães A de OS, Magalhães PE, Bertoz AP de M, Faltin K, Arita ES, et al. Cone-beam computed tomography evaluation of bone density of midpalatal suture before, after, and during retention of rapid maxillary expansion in growing patients. *J World Fed Orthod*. 2017;6(1):15–9.
157. Woller JL, Kim KB, Behrents RG, Buschang PH. An assessment of the maxilla after rapid maxillary expansion using cone beam computed tomography in growing children. *Dental Press J Orthod*. 2014;19(1): 26–35.
158. Cantarella D, Dominguez-Mompell R, Moschik C, Sfogliano L, Elkenawy I, Pan HC, et al. Zygomaticomaxillary modifications in the horizontal plane induced by micro-implant-supported skeletal expander, analyzed with CBCT images. *Prog Orthod*. 2018;19(1):41.
159. Perinetti G, Primožič J, Franchi L, Contardo L. Treatment Effects of Removable Functional Appliances in Pre-Pubertal and Pubertal Class II Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis of Controlled Studies. Bencharit S, editor. *PLoS One*. 2015;10(10):e0141198.
160. Baccetti T, Franchi L, Schulz SO, McNamara JA Jr. Treatment timing for an orthopedic approach to patients with increased vertical dimension. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2008;133(1): 58–64.
161. Baccetti T, Franchi L, Giuntini V, Masucci C, Vangelisti A, Defraia E. Early vs late orthodontic treatment of deepbite: A prospective clinical trial in growing subjects. *Am J Orthod Dentofacial Orthop*. 2012; 142 (1):75-82.
162. Baccetti T, Franchi L, Cameron CG, McNamara JA Jr. Treatment timing for rapid maxillary expansion. *Angle Orthod*. 2001; 71(5):343–50.
163. Perinetti G, Braga C, Contardo L, Primožic J. Cervical vertebral maturation: Are postpubertal stages attained in all subjects? *Am J Orthod Dentofac Orthop*. 2020;157(3):305–12.
164. Reyes BC, Baccetti T, McNamara JA Jr. An estimate of craniofacial growth in Class III malocclusion. *Angle Orthod*. 2006;76 (4):577–84.

165. Janson GR, Martins DR, Tavano O, Dainesi EA. Dental maturation in subjects with extreme vertical facial types. *Eur J Orthod.* 1998;20 (1):73–8.
166. Cossellu G, Farronato G, Nicotera O, Biagi R. Transverse maxillary deficit and its influence on the cervical vertebrae maturation index. *Eur J Paediatr Dent.* 2016;17(2):147-50.
167. Angelieri F, Franchi L, Cevitanes LHS, Hino CT, N´Guyen T, McNamara JA Jr. Zygomaticomaxillary suture maturation: A predictor of maxillary protraction? Part I - A classification method. *Orthod Craniofacial Res.* 2017;20 (2):85–94.
168. Kajan ZD, Nasab NK, Eghrari N. Quantitative evaluation of midpalatal suture opening and its relation with zygomaticomaxillary suture status in patients aged 7–25 years using cone beam computed tomography images: In an Iranian population. *Contemp Clin Dent.* 2018;9 (Suppl 1): S89–S94.
169. Kanchan T, Krishan K. Evaluation of spheno-occipital synchondrosis: A review of literature and considerations from forensic anthropologic point of view. *J Forensic Dent Sci.* 2013;5 (2):72-76.



ANEXOS

1. Dictamen favorable del Comité de Ética de la Universidad Rey Juan Carlos

D. José Luis del Barrio Fernández, Secretario del Comité de Ética de la Investigación de la Universidad Rey Juan Carlos,

CERTIFICA

Que este Comité ha evaluado el proyecto de investigación titulado:

ESTUDIO EPIDEMIOLÓGICO DE LOS ESTADIOS DE MADURACIÓN DE LA SUTURA PALATINA MEDIA CON CBCT Y SU CORRELACIÓN CON LA MADUREZ VERTEBRAL

Con número de registro interno: 300420165116

y considera que:

- Se cumplen los requisitos éticos necesarios del protocolo en relación con los objetivos del estudio y están justificados los riesgos y molestias previsibles para los participantes.
- La capacidad del investigador y los medios disponibles son apropiados para llevar a cabo el estudio.

Por lo que ha decidido emitir un dictamen **FAVORABLE** para la realización de dicho proyecto, cuyo investigador principal es Don **MARTÍN ROMERO MAROTO** de la Facultad de Ciencias de la Salud de la URJC.

Lo que firmo en Mostoles a 14 de Julio de 2016.

Firmado: D. José Luis del Barrio Fernández

2. Encuesta entregada a los alumnos para la evaluación de la sutura palatina media

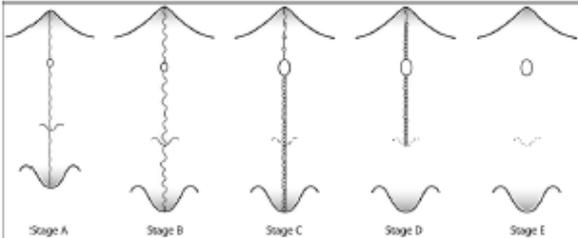


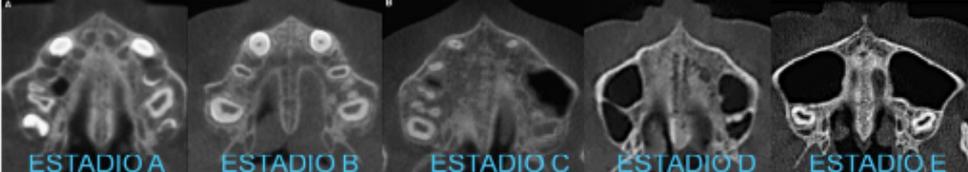
PROTOCOLO EVALUACIÓN MADURACIÓN SUTURA PALATINA

```

    graph TD
      Q1[Can you see the suture along both the maxillary and palatine bones?] -- Yes --> Q2[Are there two high-density lines along the suture?]
      Q1 -- No --> Q3[Can you see the suture along the maxilla only?]
      Q2 -- No --> Q4[Is the one line you see scalloped?]
      Q2 -- Yes --> S3[STAGE C]
      Q3 -- Yes --> S4[STAGE D]
      Q3 -- No --> S5[STAGE E]
      Q4 -- No --> S1[STAGE A]
      Q4 -- Yes --> S2[STAGE B]
  
```

- ✓ ETAPA A: la sutura media palatina es casi una línea recta de alta densidad, con poca o ninguna interdigitación.
- ✓ ETAPA B: la sutura palatina media presenta una forma irregular y aparece como una línea festoneada de alta densidad. Los pacientes en la etapa B pueden tener también algunas pequeñas áreas donde existen dos líneas de alta densidad paralelas y festoneadas que están cerca la una de la otra y separadas por pequeños espacios de baja densidad.
- ✓ ETAPA C: la sutura aparece como 2 líneas de alta densidad paralelas y festoneadas cerca la una de la otra pero separadas con espacios pequeños de baja densidad en el hueso maxilar y palatino. La sutura puede estar dispuesta en una recta o con un patrón irregular.
- ✓ ETAPA D: se produce la fusión de la sutura palatina media en el hueso palatino, con una maduración progresiva desde posterior a anterior. En el hueso palatino, la sutura palatina no puede visualizarse en esta etapa, y la densidad del hueso parasutural está aumentada comparada con la densidad del hueso parasutural maxilar. En la porción maxilar de la sutura, la fusión todavía no ha ocurrido, y la sutura puede verse como dos líneas de alta densidad separadas por pequeños espacios de baja densidad.
- ✓ ETAPA E: La fusión de la sutura palatina media ha ocurrido en el maxilar. La sutura palatina media no puede ser identificada y la densidad del hueso parasutural es la misma que en otras regiones del paladar.





PROTOCOLO EVALUACIÓN MADURACIÓN SUTURA PALATINA

Fecha:

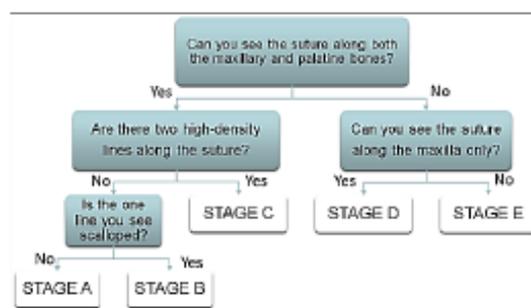
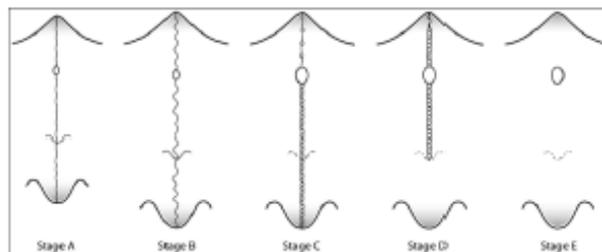
Nombre: 1 A B C D E F

2 A B C D E F

3 A B C D E F

ESTADIO SUTURA / DIAPOSITIVA	A	B	C	D	E
1					
2					
3					
4					
5					
6					
7					
8					
9					
10					
11					
12					
13					
14					
15					

- ✓ ETAPA A: la línea de la sutura alta densidad recta, con poca o ninguna interdigitación.
- ✓ ETAPA B: estado festoneado de la línea de la sutura, presentando también una alta densidad.
- ✓ ETAPA C: festoneado en paralelo, pero con dos líneas de alta densidad que se acercan mucho la una a la otra separadas por pequeños espacio de baja densidad.
- ✓ ETAPA D: fusión completa del hueso palatino, sin evidencia de sutura.
- ✓ ETAPA E: fusión anterior del maxilar



3. Encuesta entregada a para la evaluación de la sutura palatina media y la sincondrosis esfeno-occipital


Universidad Rey Juan Carlos

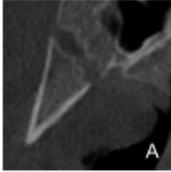
PROTOCOLO EVALUACIÓN MADURACIÓN SUTURA PALATINA Y DE LA SINCONDROSIS ESFENO-OCCIPITAL.

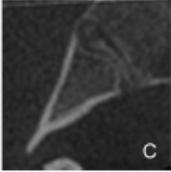
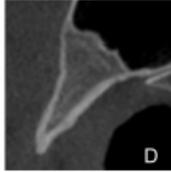
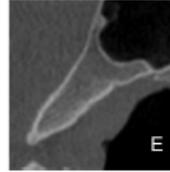
Fecha: _____ **Nombre:** _____

DIPOSITIVA	SUTURA PALATINA	SINCONDROSIS ESFENO-OCCIPITAL
1		
2		
3		
4		
5		
6		
7		
8		
9		
10		
11		
12		

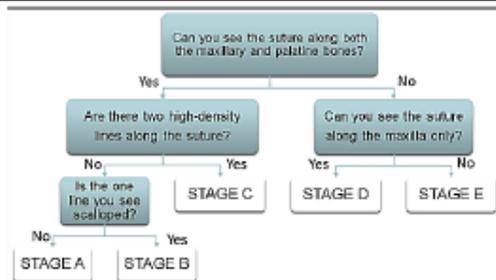
SINCONDROSIS ESFENO-OCCIPITAL

- ✓ ETAPA A: la sincondrosis está abierta completamente y no fusionada.
- ✓ ETAPA B: el borde superior esta fusionado mientras el resto permanece abierta.
- ✓ ETAPA C: la mitad de la sincondrosis está fusionada.
- ✓ ETAPA D: fusión completa de la sincondrosis, pero aun es evidente el sitio de unión.
- ✓ ETAPA E: fusión completa, el sitio de unión ha desaparecido dando apariencia a lo largo de todo de un hueso normal.

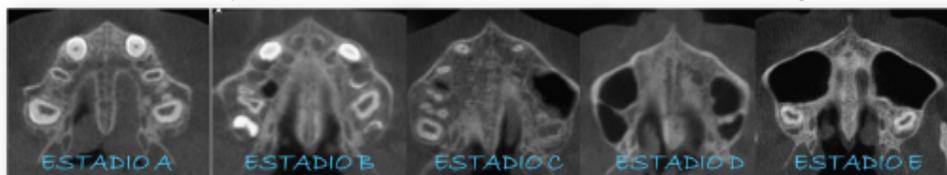
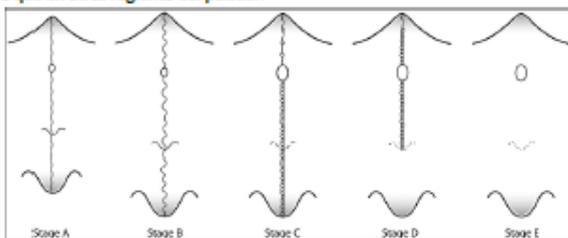


PROTOCOLO EVALUACIÓN MADURACIÓN SUTURA PALATINA



- ✓ ETAPA A: la sutura media palatina es casi una línea recta de alta densidad, con poca o ninguna interdigitación.
- ✓ ETAPA B: la sutura palatina media presenta una forma irregular y aparece como una línea festoneada de alta densidad. Los pacientes en la etapa B pueden tener también algunas pequeñas áreas donde existen dos líneas de alta densidad paralelas y festoneadas que están cerca la una de la otra y separadas por pequeños espacios de baja densidad.
- ✓ ETAPA C: la sutura aparece como 2 líneas de alta densidad paralelas y festoneadas cerca la una de la otra pero separadas con espacios pequeños de baja densidad en el hueso maxilar y palatino. La sutura puede estar dispuesta en una recta o con un patrón irregular.
- ✓ ETAPA D: se produce la fusión de la sutura palatina media en el hueso palatino, con una maduración progresiva desde posterior a anterior. En el hueso palatino, la sutura palatina no puede visualizarse en esta etapa, y la densidad del hueso parasutural está aumentada comparada con la densidad del hueso parasutural maxilar. En la porción maxilar de la sutura, la fusión todavía no ha ocurrido, y la sutura puede verse como dos líneas de alta densidad separadas por pequeños espacios de baja densidad.
- ✓ ETAPA E: La fusión de la sutura palatina media ha ocurrido en el maxilar. La sutura palatina media no puede ser identificada y la densidad del hueso parasutural es la misma que en otras regiones del paladar.





**VNiVERSIDAD
D SALAMANCA**

CAMPUS DE EXCELENCIA INTERNACIONAL