

FORENSIC DENTISTRY METHODS TO ESTIMATE THE CHRONOLOGICAL AGE
OF INDIVIDUALS. A TOPIC REVIEW

MÉTODOS DE ODONTOLOGÍA FORENSE PARA ESTIMAR LA EDAD
CRONOLÓGICA DE LOS INDIVIDUOS. REVISIÓN DE TEMA

CATALINA UGALDE BARAHONA¹, JOSÉ MANUEL OLIVARES², ERNESTO GONZÁLEZ MALLEA³,

GUSTAVO MONCADA CORTÉS⁴, OSMIR B. DE OLIVEIRA JUNIOR⁵

ABSTRACT. Introduction: global mobilization has created new needs. From sporting events to criminal matters, determining the chronological age of individuals is being used by forensic surgeons worldwide. The objective of the present study was to analyze the forensic methods to estimate the age of individuals, including the advantages and limitations of these methods. **Method:** a search was conducted in the Sistema de Bibliotecas de la Universidad Mayor (SIBUM): Dentistry & Oral Sciences Source, ClinicalKey, and Science Direct Freedom Collection, selecting papers published from 1980 to 2014. A manual search was also conducted, including specific journals and texts in this field, with no limitation as to the year of publication. The inclusion criteria were research projects aimed at determining the chronological age of individuals through forensic analysis of oral tissues. All published texts in a language other than English were excluded. In total, 70 publications were analyzed. Technological advances have paved the way for the study of new parameters; however, the original ones identified by Gustafson in 1950 are still studied. **Conclusions:** most studied methods are invasive in some degree. In addition, none of these techniques is accurate in its own; therefore, the combination of different measurement techniques is recommended, opening a field of research on techniques that are less invasive and can be a complement to the existing ones. Finally, the available information lead to conclude that research on populations of African and Asian descent is lacking, which is a current challenge because of globalization, migration, and the heterogeneity of current populations.

Key words: forensic dentistry, determining age by teeth, dental eruption, forensic anthropology.

RESUMEN. Introducción: la movilización global ha generado nuevas necesidades; desde eventos deportivos hasta asuntos criminales, determinar la edad cronológica de los individuos está siendo utilizado por forenses en todo el mundo. El objetivo del presente estudio consistió en analizar los métodos forenses para la estimación de la edad de los individuos, incluyendo las ventajas y limitaciones de dichos métodos. **Método:** se realizó una búsqueda en el Sistema de Bibliotecas de la Universidad Mayor (SIBUM): Dentistry & Oral Sciences Source; ClinicalKey y Science Direct Freedom Collection, y se seleccionaron artículos publicados entre los años 1980 y 2014. Se hizo además una búsqueda manual, incluyendo revistas específicas y textos de la materia, sin limitación en cuanto al año de publicación. Como criterio de inclusión, se tuvieron en cuenta las investigaciones cuyo objetivo era determinar la edad cronológica de los individuos mediante el análisis forense de tejidos orales. Se excluyeron todos los textos publicados en otro idioma que no fuera inglés. En total, se analizaron 70 publicaciones. Los avances tecnológicos han permitido el estudio de nuevos parámetros; sin embargo, se siguen estudiando los originales identificados por Gustafson en 1950. **Conclusiones:** la mayoría de los métodos estudiados representan algún grado de invasión. Además, ninguna de estas técnicas es exacta por sí sola, por lo que se recomienda combinar distintas técnicas de medición, abriendo un campo de investigación a técnicas menos invasivas que puedan ser un complemento de las ya existentes. Finalmente, con la información disponible podemos determinar que faltan investigaciones sobre poblaciones de origen africano y asiático, lo que representa un desafío en la actualidad debido a la globalización, las migraciones y la heterogeneidad de las poblaciones actuales.

Palabras clave: odontología forense, determinación de la edad por los dientes, erupción dental, antropología forense.

Ugalde-Barahona C, Olivares JM, González-Mallea E, Moncada-Cortés G, de-Oliveira-Junior OB. Forensic dentistry methods to estimate the chronological age of individuals. A topic review. Rev Fac Odontol Univ Antioq. 2017; 29 (1): 173-186. DOI: <http://dx.doi.org/10.17533/udea.rfo.v29n1a9>

- 1 DDS. School of Sciences, Universidad Mayor de Chile, Santiago de Chile, cataugalde@gmail.com
- 2 DDS, School of Sciences, Universidad Mayor de Chile, Santiago de Chile, jotapintor@gmail.com
- 3 DDS, School of Sciences, Universidad Mayor de Chile, Santiago de Chile, e.gonzalezmallea@gmail.com
- 4 DDS, PhD, School of Sciences, Universidad Mayor de Chile, Santiago de Chile, gmoncada@adsl.tie.cl
- 5 DDS, MSc, PhD, School of Dentistry, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Araraquara, Brazil, Dr_osmir@hotmail.com

SUBMITTED: MAY 15/2016 - ACCEPTED: JULY 19/2016

- 1 DDS. Facultad de Ciencias, Universidad Mayor de Chile, Santiago de Chile, cataugalde@gmail.com
- 2 DDS, Facultad de Ciencias, Universidad Mayor de Chile, Santiago de Chile, jotapintor@gmail.com
- 3 DDS, Facultad de Ciencias, Universidad Mayor de Chile, Santiago de Chile, e.gonzalezmallea@gmail.com
- 4 DDS, PhD, Facultad de Ciencias, Universidad Mayor de Chile, Santiago de Chile, gmoncada@adsl.tie.cl
- 5 DDS, MSc, PhD, Escuela de Odontología, Universidade Estadual Paulista UNESP, Araraquara, Brasil, Dr_osmir@hotmail.com

RECIBIDO: MAYO 15/2016 - ACEPTADO: JULIO 19/2016

INTRODUCTION

Forensic dentistry solves problems that go beyond the identification of human bodies *postmortem*. Globalization has brought along the problems of a changing society due to the current mobility of population around the world, creating new challenges for the profession.¹ Various reasons, such as adoption processes, participation of athletes in sporting events, the provision of state benefits, immigration, criminal proceedings, and verification of age for retirement purposes, require the estimation of the chronological age of individuals.²⁻⁴

The development of identification methods has gone through several stages, from the visual and radiographic interpretation to the use of technological aids, with physical, biochemical, molecular, and genetic analyses in constant innovation.⁵⁻⁷

The first records of the role of forensic dentistry in determining the chronological age of individuals traces back to 20th century England during the industrial revolution.⁸ Long working hours and precarious social conditions affected adults and children alike. State regulations established the number of weekly working hours according to age groups and banned the work of children under 9. A large portion of the population lacked birth certificates, or these were incomplete, so age determination was done using subjective methods such as the person's height. In 1937, Dr. Edwin Saunders defined a table of age recognition according to the clinical visualization of the chronology of tooth eruption; this had a great social impact and marked the beginning of scientific evidence-based forensic dentistry.

Many authors continued this research field focusing on the clinical and radiographic study of the chronology of tooth eruption, such as Demirjian et al (1973),⁹ Solheim (1993),¹⁰ Kvaal et al (1995),¹¹ and Kvaal and Solheim (1994),¹² who created identification methods to determine the age of

INTRODUCCIÓN

En la sociedad actual, la odontología forense soluciona problemas que van más allá de la identificación de cuerpos humanos *post mortem*. La globalización implica problemas de una sociedad cambiante, dado el acceso que tiene hoy la población a moverse dentro del mundo, lo cual genera nuevos desafíos para la profesión.¹ Diversos motivos, como procesos de adopción, participación de atletas en eventos deportivos, beneficios estatales, inmigración, procesos criminales y verificación de edades por razones de jubilación, precisan de la estimación de la edad cronológica de los individuos.²⁻⁴

El desarrollo de los métodos de identificación ha pasado por varias etapas, desde la interpretación visual y radiográfica, hasta la utilización de tecnología de vanguardia, con análisis físicos, bioquímicos, moleculares y genéticos en constante proceso de innovación.⁵⁻⁷

Los primeros registros del rol de la odontología forense en la determinación de la edad cronológica de los individuos se remontan a Inglaterra en el siglo XX, durante la revolución industrial.⁸ Las arduas jornadas laborales y las precarias condiciones sociales afectaban tanto a adultos como a niños. La regulación estatal establecía la cantidad de horas semanales laborales según grupo etario y prohibía el trabajo de niños menores de 9 años. Gran parte de la población carecía de acta de nacimiento, o ésta se encontraba incompleta, por lo que la determinación de la edad se hacía con métodos subjetivos como la medición de la estatura. En el año 1937, el doctor Edwin Saunders definió una tabla de reconocimiento etario según la visualización clínica de la cronología de la erupción dentaria, lo cual tuvo un gran impacto social y significó el comienzo de la odontología forense con base en la evidencia científica.

Numerosos autores continuaron la línea de investigación enfocada en el estudio clínico y radiográfico de la cronología de la erupción dentaria, como Demirjian et al (1973)⁹, Solheim (1993)¹⁰, Kvaal et al (1995)¹¹ y Kvaal y Solheim (1994)¹², quienes crearon métodos de identificación para la determinación de la edad de

children and young adults. For the determination of age in adulthood, researchers had to avail themselves of the physiological changes that occur with aging only. In 1950, Gustafson¹³ determined the post-eruptive dental characteristics, relating them to the age of the studied population. Based on this approach, various authors have combined and refined the study of these features, improving the validity of the obtained measurements. Using cutting-edge technology, new biochemical studies have been added, such as racemization of aspartic acid, carbon 14 detection, and tooth fluorescence. All this confirms that this is a field in constant development.

The objective of this review is to analyze the various dental methods used to determine the chronological age of living or dead individuals, as well as the advantages and limitations of these methods.

MATERIALS AND METHODS

A search in the Sistema de Bibliotecas de la Universidad Mayor (SIBUM) was conducted, including Dentistry & Oral Sciences Source, ClinicalKey, and Science Direct Freedom Collection, and selecting articles published between 1980 and 2014. A manual search was also conducted, including journals and texts on the topic, this time with no limitation in terms of year of publication. The inclusion criteria were research studies aimed at determining the chronological age of individuals by forensic analysis of oral tissues. All articles published in a language other than English were excluded, reaching a final sample of 70 items to analyze.

Methods for age determination

Different age groups indicate different forensic dentistry methods to determine the chronological age of individuals. Thus, there is a group of individuals from 0 to 13 years—a period that ends

niños y adultos jóvenes. Para la determinación de la edad en la adultez, los investigadores debían valerse únicamente de los cambios fisiológicos que ocurren con el envejecimiento. En 1950, Gustafson¹³ determinó las características dentarias posteruptivas y las relacionó con la edad de las personas estudiadas. A partir de este planteamiento, distintos autores han combinado y perfeccionado el estudio de estas características, y de esta manera han logrado mejorar la validez de las mediciones obtenidas. Utilizando tecnología de vanguardia, se han agregado estudios bioquímicos, como racemización del ácido aspártico, detección de carbono 14 y fluorescencia dentaria. Todo esto confirma que este es un campo que se encuentra en constante desarrollo.

El objetivo de esta revisión consiste en analizar los distintos métodos odontológicos utilizados para determinar la edad cronológica de individuos vivos o muertos, y las ventajas o limitaciones que estas presentan.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los autores realizaron una búsqueda en el Sistema de Bibliotecas de la Universidad Mayor (SIBUM): Dentistry & Oral Sciences Source; ClinicalKey y Science Direct Freedom Collection. Se seleccionaron artículos publicados entre los años 1980 a 2014. También se hizo una búsqueda manual, incluyendo revistas específicas y textos de la materia; en este caso no hubo limitación en cuanto al año de publicación. Como criterio de inclusión, se consideraron las investigaciones cuyo objetivo fue determinar la edad cronológica de los individuos mediante el análisis forense de tejidos orales. Se excluyeron todos los textos publicados en otro idioma que no fuera el inglés, y se obtuvo una muestra final de 70 artículos a analizar.

Métodos para la determinación de la edad

Los distintos grupos etarios condicionan diferentes metodologías de odontología forense para determinar la edad cronológica de los individuos. En este sentido, se destaca a los individuos de 0 a 13 años, periodo que

with the eruption of the second upper permanent molars—and another group of individuals aged 14 to 21 years, that goes from full crown formation of third molars until full eruption.¹³ In older ages, the changes observed in teeth are mainly associated with physiological aging. Measurements in this age group are more complex as individuals are more vulnerable to modifications by the influence of environmental factors or by the individuals' habits.

1. Individuals aged 0 to 13 years

This age group presents the best accuracy in determining chronological age, based on the abundant information provided by the chronology of tooth formation and eruption, as well as the easy access to clinical inspection and x-rays. Various researchers, including Kvaal et al¹² together and separately, have searched information for this age group. Researchers today are still using their methods in populations of different ethnic groups to validate the achieved results.¹⁴

There are visual methods available, corresponding to the clinical observation of tooth eruption, which are influenced by the examiner's skills and the low frequency of obstacles, such as crowding, lack of space, cysts, and tumors, which limit tooth eruption. The most commonly used measurement is currently the comparison or analysis of panoramic dental x-rays. A variety of identification methods have been described, including those by Demirjian et al,⁹ Kvaal et al,¹¹ Nicodemo, Morais and Médici Filho,¹⁵ which compare the degree of development or dental calcification using numerical tables or illustrations (Figures 1, 2 and 3).

concluye con la erupción de los segundos molares permanentes superiores, y los de 14 a 21 años, que incluye desde la formación coronaria completa de los terceros molares hasta su total erupción.¹³ A mayor edad, los cambios que se visualizan en los dientes están principalmente asociados al envejecimiento fisiológico. Este segmento etario es más complejo de medir y tiene mayor susceptibilidad a ser modificado por la influencia de factores ambientales o por los hábitos de los individuos.

1. Individuos de 0 a 13 años

Este grupo etario presenta la mayor exactitud en la determinación de la edad cronológica, lo cual se fundamenta en la gran información que entrega la cronología de la formación y erupción dentaria, así como el fácil acceso para la inspección clínica y la toma de radiografías. Numerosos investigadores, como Kvaal et al¹² en conjunto y por separado, han buscado información para este grupo etario. Hoy en día se observa que los investigadores siguen utilizando sus métodos en poblaciones de distintas etnias para validar los resultados obtenidos.¹⁴

Existen métodos visuales, que corresponden a la observación clínica de la erupción dentaria, los cuales están influenciados por el entrenamiento del examinador y la baja frecuencia de impedimentos u obstáculos, como apiñamiento, falta de espacio, quistes y tumores, que limiten la erupción dentaria. La medición más utilizada actualmente es la comparación o el análisis de radiografías dentales panorámicas. Se describen múltiples métodos de identificación, como los de Demirjian et al,⁹ Kvaal et al,¹¹ Nicodemo, Morais y Médici Filho,¹⁵ en los cuales se debe comparar el grado de desarrollo o calcificación dentaria con tablas numéricas o ilustraciones (Figuras 1, 2 y 3).

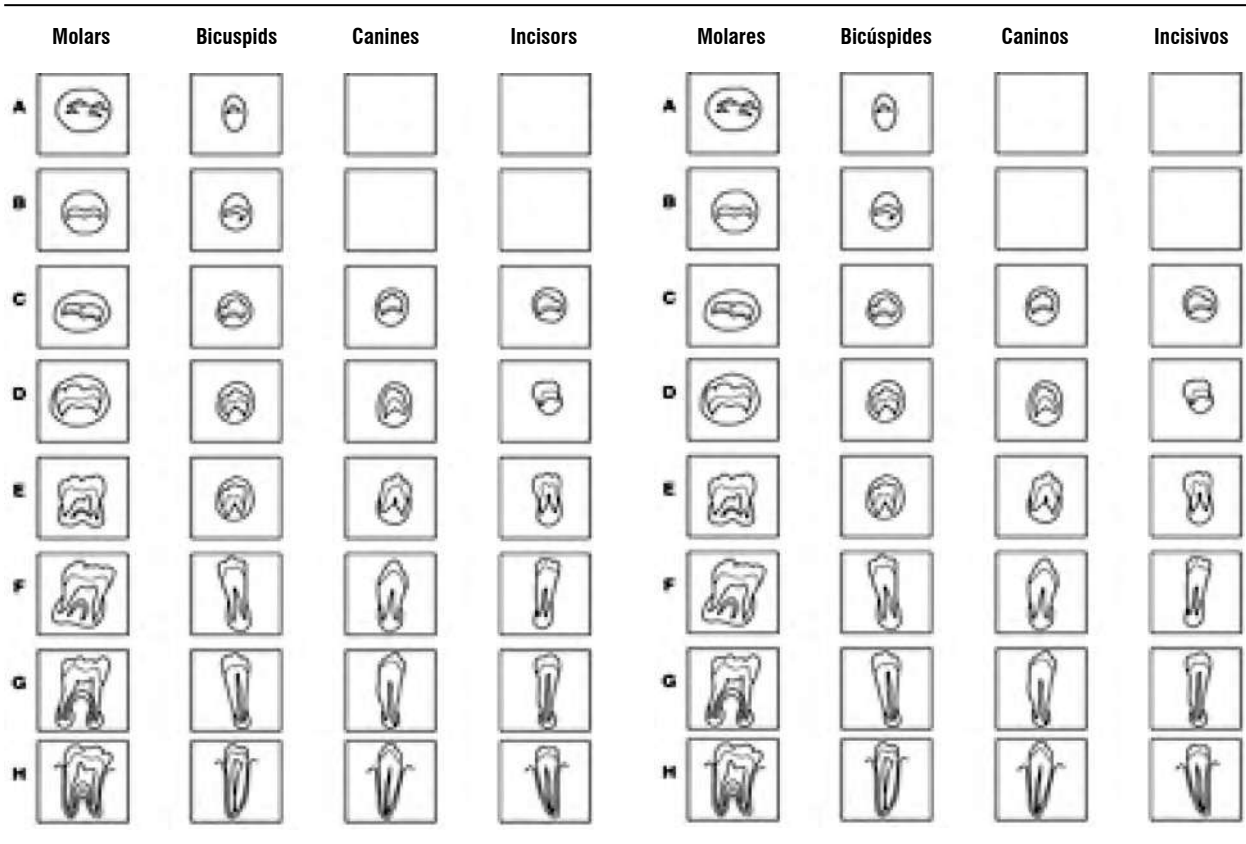


Figure 1. Original diagram “State of development of permanent dentition”, created by Demirjian, Goldstein and Tanner⁹

Figura 1. Diagrama Original “Estado de desarrollo de la dentición permanente”, creado por Demirjian, Goldstein y Tanner⁹

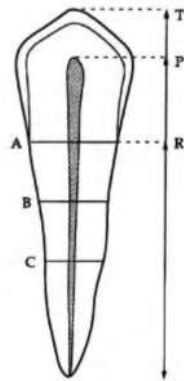
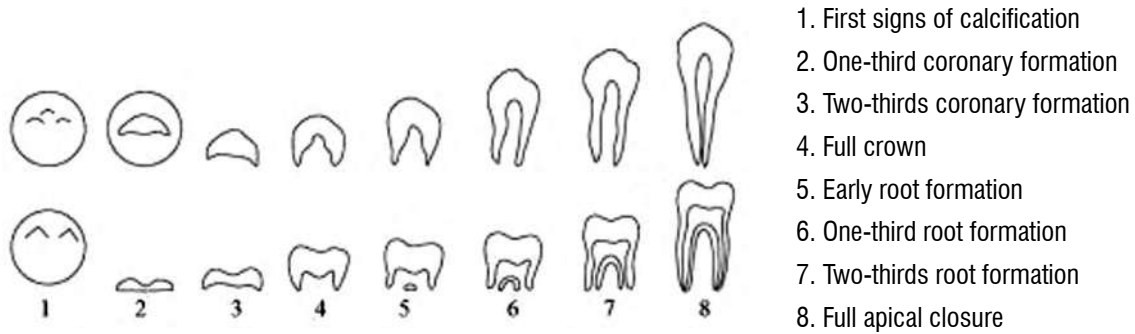


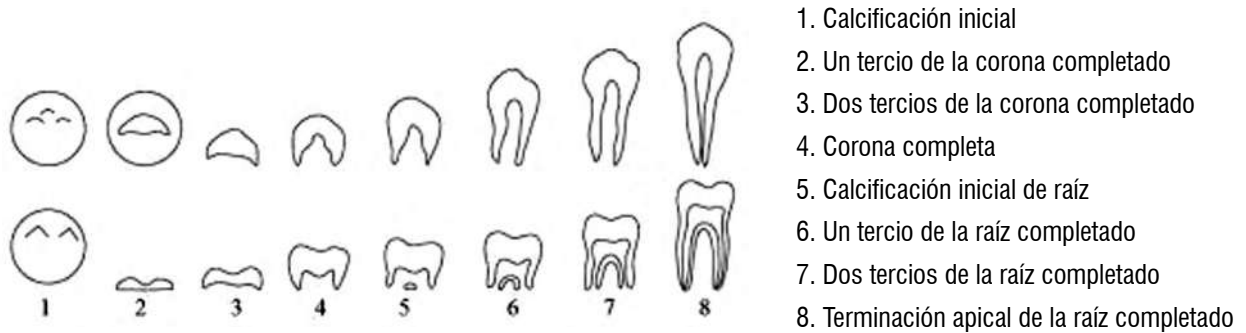
Figure 2. Diagram showing the measurements performed to determine the age of individuals. T: maximum tooth length; R: root length by mesial surface; P: maximum pulp length; A: root and pulp width in the cemento enamel junction; B: root and pulp width between measures of levels A and C; C: root and pulp width between the apex and the cemento enamel junction. Kvaal et al¹¹

Figura 2. Diagrama que muestra las mediciones que se realizan para determinar la edad de los individuos. T: largo máximo de la pieza dentaria; R: largo radicular por la superficie mesial; P: largo pulpar máximo; A: ancho radicular y pulpar en la unión amelo cementaria; B: ancho radicular y pulpar entre medidas de niveles A y C; C: ancho de raíz y pulpa entre ápice y unión amelo cementaria. Kvaal et al¹¹



1. First signs of calcification
2. One-third coronary formation
3. Two-thirds coronary formation
4. Full crown
5. Early root formation
6. One-third root formation
7. Two-thirds root formation
8. Full apical closure

Figure 3. States of teeth mineralization based on mineralization chronology, proposed by Nicodemo, Moraes and Medici¹⁵



1. Calcificación inicial
2. Un tercio de la corona completado
3. Dos tercios de la corona completado
4. Corona completa
5. Calcificación inicial de raíz
6. Un tercio de la raíz completado
7. Dos tercios de la raíz completado
8. Terminación apical de la raíz completado

Figura 3. Estados de mineralización de los dientes con base en la cronología de mineralización, propuesto por Nicodemo, Moraes y Medici¹⁵

These analyses provide information on the chronological age and degree of maturation of individuals, according to the associated percentiles. In addition, these results can be compared and complemented with information from medical x-rays of carpal bone, phalanges and vertebrae calcification.¹⁶ Most scientific information available is based on Caucasian populations, while the literature on African, Asian or indigenous populations is scarce. There are differences according to medical history, racial group, socioeconomic level, and gender, since men have a slower development. Current research is focused on increasing the amount of information on the various racial groups.^{14, 15}

2. Individuals aged 14 to 21 years

Most countries define legal adulthood between the ages of 18 and 21 years, an age associated with legal

De los resultados de estos análisis se desprende la información de la edad cronológica y el grado de maduración del individuo, según el percentil que se le asocie. Además, estos resultados se pueden comparar y complementar con la información de radiografías médicas de calcificación ósea carpal, de falanges y vértebras.¹⁶ La mayoría de la información científica disponible está basada en poblaciones caucásicas, y es escasa la literatura sobre poblaciones africanas, asiáticas o indígenas. Además, existen diferencias según la historia de salud, los grupos raciales, el nivel socioeconómico y el género, pues los hombres presentan un desarrollo más lento. La investigación actual está enfocada en aumentar la recopilación de información sobre los distintos grupos raciales.^{14, 15}

2. Individuos de 14 a 21 años

La mayoría de los países define legalmente la adultez entre los 18 y los 21 años, edad asociada a la

independence and legal penalty, so it is critical to define this age in the case of individuals who lack a birth certificate or whose documents have been altered. The method most commonly described in the literature for this age group is the evaluation of the development or calcification of third molars by means of intra- or extra-oral radiographs.²

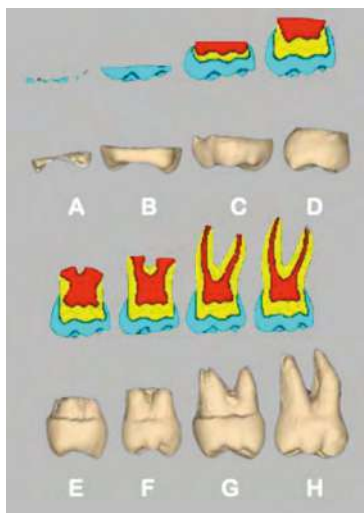
Most studies find that age estimation is not very accurate. A determining factor is connected to alterations in measurements due to operator skill and patient cooperation during intraoral radiographs. There are also differences in terms of maxillary, ethnicity, presence of diseases, anatomical obstructions, and environmental factors. Schmeling et al³ recommend using also the assessment of hand, wrist, and collarbone, in conjunction with the analysis of third molars. Cameriere et al¹⁷ combine the radiographic evaluation of development of third molars with the assessment of the pulp chamber/crown area ratio.

A study developed by Mincer et al in 1993,¹⁸ endorsed by the American Board of Forensic Odontology, determined that if third molars have complete root formation, the probability for individuals to be 18 years or older is 90.1% in men and 92.2% in women from Caucasian origin.

independencia legal y a la penalidad jurídica, por lo que es fundamental que sea consignada en caso de individuos con ausencia de certificado de nacimiento o adulteración de documentos. El método más descrito en la literatura para este grupo etario es la evaluación del desarrollo o calcificación de los terceros molares mediante radiografías intra o extraorales.²

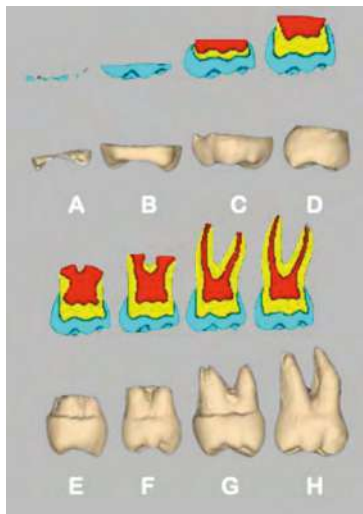
Se observa que la mayoría de los estudios encuentran que la estimación de la edad es de baja precisión. Un factor determinante es la alteración en las mediciones debido a la habilidad del operador y a la cooperación del paciente al momento de realizar la técnica radiográfica intraoral. También se encuentran diferencias, según maxilar, etnia, presencia de patologías, obstrucciones anatómicas y factores ambientales. Schmeling et al³ recomiendan utilizar también la evaluación ósea en mano, muñeca y clavícula, en conjunto con el análisis de los terceros molares. Cameriere et al¹⁷ combinan la evaluación radiográfica del desarrollo de los terceros molares con la determinación de la relación cámara pulpar/área coronaria.

Un estudio desarrollado por Mincer et al en 1993,¹⁸ avalado por el American Board of Forensic Odontology, determinó que si los terceros molares están con formación radicular completa, la probabilidad de que los individuos tengan 18 años o más es de 90,1% en hombres y 92,2% en mujeres caucásicas.



A	Calcification of some occlusal points with no fusion
B	Fusion of mineralization points; dental occlusal border
C	End of enamel formation and beginning of dentinal deposits
D	Full crown formation down to the cementoenamel junction
E	Root length is shorter than crown height
F	Root length is equal to or greater than crown height
G	Full root formation; the apical end is still partially open
H	The apical end of the root canal is completely closed

Figure 4. Classification of third molars using the mineralization model by Demirjian et al, adapted by Mincer et al¹⁸



A	Calcificación de algunos puntos oclusales sin fusión
B	Fusión de los puntos de mineralización, contorno dental oclusal
C	Fin de la formación del esmalte y comienzo de depósito de dentina
D	Formación de la corona hasta el límite amelocementario
E	La longitud de la raíz es más corta que la altura de la corona
F	La longitud de la raíz es igual o mayor que la de la corona
G	Termina la formación de la raíz; el agujero apical continúa abierto
H	Cierre del agujero apical

Figura 4. Clasificación de terceros molares mediante esquema de mineralización de Demirjian et al, adaptado por Mincer et al¹⁸

3. Individuals over 21 years of age

This age group presents the greatest challenge to forensic dentists, since the difference in chronological age can only be seen by dental changes and periodontal tissues associated with physiological aging. There is high variability among individuals in terms of nutritional status, occupation, the presence of trauma, caries, or periodontal disease, and drugs and alcohol abuse, to name just a few reasons.

In 1950, Gustafson¹³ published a technique to estimate age in adults. This statistical method combined six independent parameters of progressive changes: degree of occlusal attrition, root transparency, secondary dentine apposition, gingival recession, number of layers of root cementum apposition, and degree of root resorption. They were classified into four stages (with a score of 0 to 3), considering that each parameter progresses at the same pace with age. Each stage was just as effective individually evaluated, and each was given the same level of importance. Gustafson's method showed an error rate of 7 to 8 years, including 95% of the population. This method has not been successfully replicated with the same results by other authors.¹⁹

3. Individuos mayores de 21 años

Este grupo etario presenta el mayor desafío para el odontólogo forense, debido a que la diferencia de edad cronológica puede ser apreciada solamente por los cambios dentarios y de los tejidos periodontales asociados al envejecimiento fisiológico. Existe gran variabilidad individual en cuanto al estado nutricional, la actividad laboral, la presencia de traumatismos, caries o enfermedad periodontal, el abuso de drogas y alcohol, entre otras razones.

En 1950 Gustafson¹³ publicó una técnica para la estimación de la edad en adultos. Este método estadístico combinaba seis parámetros de cambios progresivos independientes: grado de atrición oclusal, transparencia radicular, aposición de dentina secundaria, nivel de recesión gingival, número de capas de aposición de cemento radicular y grado de reabsorción radicular. Fueron clasificados en cuatro estadios (otorgando un puntaje de 0 a 3), considerando que cada parámetro avanzaba al mismo ritmo con la edad. Cada estadio era igual de efectivo si se evaluaba de manera individual, otorgando a cada uno el mismo nivel de importancia. El método de Gustafson reportó una tasa de error de 7 a 8 años, que incluiría al 95% de la población. Esta metodología no ha podido ser replicada con los mismos resultados por otros autores.¹⁹

So far, researchers have limited themselves to the study of two to three characteristics simultaneously, such as root transparency and cementum apposition. Relying on the available technological advancements, such as electron microscopy and computed microtomography, they have been able to improve the validity of the results. They have also used linear regression formulas, which have allowed improvements to the methodology. The following are some of these methods.

1. Anatomical methods

a) Degree of external root resorption

According to Gustafson,¹³ of all the parameters associated with age, external root resorption is the least reliable. The preferred method for viewing it is intra- and extra-oral x-rays.

b) Degree of occlusal attrition

Occlusal attrition is strongly influenced by cultural and dietary habits. In 1984, Smith and Knight²⁰ created a rate of tooth wear as an epidemiological tool (Tooth Wear Index, TWI). This method is mainly used to determine the cultural and dietary habits of populations, with anthropological purposes.

2. Histological methods

a) Secondary dentin apposition

Progressive dentin apposition reduces the pulp chamber in size, modifying the dimensions and the relationship between the size of the pulp and the size of the crown. The assessment is done through the analysis of histological sections or using intraoral radiographs. The advantage of the radiographic analysis is that it is not invasive or destructive; in addition, it is inexpensive, can be performed *ante* or *post-mortem*, and the technique is widespread among practitioners. In 1995, Kvaal et al¹¹ designed a non-invasive, easy to use radiographic analysis method based on dental morphology. In

Actualmente, los investigadores se han limitado a estudiar dos o tres características simultáneamente, como transparencia radicular y aposición de cemento radicular. Apoyándose en los avances tecnológicos disponibles, como microscopía electrónica y microtomografía computarizada, han podido mejorar la validez de los resultados. A esto se suma la utilización de fórmulas de regresión lineal, lo que ha permitido perfeccionar la metodología. A continuación se describen algunos de estos métodos.

1. Métodos anatómicos

a) Grado de reabsorción radicular externa

Según Gustafson,¹³ de todos los parámetros asociados con la edad, la reabsorción radicular externa es el menos confiable. Para su visualización se utilizan preferentemente radiografías intra o extraorales.

b) Grado de atrición oclusal

La atrición oclusal está fuertemente influenciada por los hábitos dietéticos y culturales. Smith y Knight²⁰ crearon en 1984 un índice de desgaste dentario como una herramienta epidemiológica (Tooth Wear Index, TWI). La principal utilidad de este método es determinar hábitos culturales y dietéticos de las poblaciones, con fines antropológicos.

2. Métodos histológicos

a) Aposición de dentina secundaria

La aposición dentinaria progresiva estrecha la cámara pulpar, modificando las dimensiones y la relación entre el tamaño pulpar y el tamaño coronario del diente. La evaluación se realiza mediante el análisis de cortes histológicos o utilizando radiografías intraorales. La ventaja del análisis radiográfico es que no es invasivo ni destructivo; además, es económico, se puede realizar *ante* o *post mortem*, y la técnica está ampliamente difundida. En 1995, Kvaal et al¹¹ diseñaron un método de análisis radiográfico basado en la morfología dentaria, de características no invasivas y de fácil aplicación.

the statistical tests they conducted an analysis of regression, leaving age as a dependent variable, finding out a statistically significant correlation ($p < 0.05$). Some variations have been made to this method using computed microtomography, achieving greater accuracy in the results.¹⁷

b) Number of layers of cementum apposition

The thickness of the cementum increases with age by apposition, becoming thinner at the cemento-enamel junction and thicker at the root apical third. The histological evaluation of this parameter requires extractions and root section, being a destructive and costly method. Solheim¹⁰ and other researchers have reported a connection between cement thickness and age. However, this connection is inaccurate because it is strongly influenced by dysfunctional habits or history of periodontal disease. Using microscopy, it is also possible to measure the number of incremental lines of apposition of the cement in the form of dark and light bands; this type of study was initially developed in the field of animal biology. In 1992, Stott et al²¹ observed the presence of incremental lines in humans, but these show high variability because the cementum is not deposited uniformly in humans; there is variation among the different teeth and between sections of the same sample. There are also very thin lines which can be difficult to read, as well as variations in the apposition cycles. In 2004, Wittwer-Backofen et al²² incorporated more modern and elaborate techniques using electron microscopy. They found an error of 2.5 years in the estimated age, with a 95% confidence interval, which makes this method more accurate than others. However, this was achieved by omitting approximately 16% of the samples because they showed patterns that were hard to read.

c) Root transparency

Root transparency is caused by sclerosis of the dentin tubules, causing resemblances of the index of refraction between the organic and the non-organic

En el estudio estadístico se llevó a cabo un análisis de regresión, dejando la edad como variable dependiente, y se detectó una correlación estadísticamente significativa ($p < 0,05$). A este método se le han realizado variaciones utilizando microtomografía computarizada, lo que ha permitido lograr mayor exactitud en los resultados.¹⁷

b) Número de capas de aposición de cemento radicular

El espesor del cemento radicular aumenta con los años por aposición, siendo más delgado a nivel del límite amelocementario y más ancho a nivel del tercio apical radicular. La evaluación histológica de este parámetro requiere exodoncia y sección radicular, por lo que es un método destructivo y costoso. Solheim¹⁰ y otros investigadores han reportado una asociación entre el espesor del cemento y la edad; Sin embargo, esta asociación es inexacta, pues está fuertemente influenciada por hábitos disfuncionales o historia de enfermedad periodontal. Mediante microscopía también es posible medir el número de líneas incrementales de aposición del cemento en forma de bandas claras y oscuras; este tipo de estudio se desarrolló inicialmente en el campo de la biología animal. En 1992, Stott et al²¹ observaron la presencia de líneas incrementales en humanos, pero éstas presentan gran variabilidad debido a que el cemento no se deposita en forma uniforme en los humanos; existe variación entre los distintos dientes y entre secciones de la misma muestra. Hay además líneas muy delgadas o poco pronunciadas que pueden ser difíciles de leer, así como variaciones en los ciclos de aposición. En 2004, Wittwer-Backofen et al²² incorporaron técnicas más modernas y elaboradas utilizando microscopía electrónica. Encontraron un error de 2,5 años en la edad estimada, con un intervalo de confianza del 95%, lo que hace que este método sea más exacto que otros. Sin embargo, esto se logró omitiendo aproximadamente el 16% de las muestras debido a que tenían patrones difíciles de leer.

c) Transparencia radicular

La transparencia radicular se produce debido a la esclerosis de los túbulos dentinarios, lo que causa que se asemejen los índices de refracción entre el componente

component. This process takes place at the apical one-third first and then moves towards coronal. Some changes can be seen on the crown, but these can be altered by the presence of caries, restorations, or attrition. There is no consensus about the etiology of these changes but they are associated with the presence of toxins from periodontal pathogens, absence of functional stimuli, and dietary and parafunctional habits. In 1991, Drusini et al²³ reported low Pearson correlation coefficient (0.84) between transparent dentin and chronological age. This is an invasive method that requires extraction, sectioning, and root polishing to analyze samples.

3. Biochemical studies

a) Amino acid racemization

The racemization of amino acids is the process of conversion of amino acids from the levorotatory to a dextrorotatory form—trying to maintain homeostasis—, a process that goes on even after death. The levorotatory form is the most active biologically, while the dextrorotatory form is inactive or potentially pathogenic. For these analyses, the L-aspartic acid of collagen dentin is preferred due to the good conservation *post mortem* and to a relative high rate of racemization. The racemization in dentin is affected by the anatomical location of the sample due to temperature and to the difference in chronological formation of crown and root; the different sides of the teeth have different levels of racemization.⁸ To reduce these variables, some authors have developed a standardized technique, taking samples at predetermined locations and on certain teeth, and storing them in places with control of environmental factors. Waite et al²⁴ defined this as a simple and highly cost-effective technique. The chronological standard error is ± 3 years.

b) Absorption of carbon 14 in enamel

Global levels of carbon 14 increased due to the nuclear tests carried out on the ground during

orgánico y el no orgánico. Este proceso ocurre primero a nivel del tercio apical y luego progresa en forma coronal. A nivel coronario se aprecian cambios, pero éstos pueden verse alterados por la presencia de caries, restauraciones o atrición. Aún no existe consenso sobre su etiología, pues está asociado a la presencia de toxinas de patógenos periodontales, ausencia de estímulos funcionales, y a hábitos dietéticos y parafuncionales. En 1991, Drusini et al²³ reportaron baja correlación de Pearson (0,84) entre la dentina transparente y la edad cronológica. Este es un método invasivo y requiere exodoncia, sección y pulido radicular para el análisis de las muestras.

3. Estudios bioquímicos

a) Racemización de aminoácidos

La racemización de los aminoácidos corresponde al proceso de conversión de los aminoácidos desde su forma levógira a dextrógira, buscando mantener la homeostasis, y continúa incluso después de la muerte. La forma levógira es la más activa biológicamente, mientras que la forma dextrógira es inactiva o potencialmente patógena. Para estos análisis, el ácido L-aspártico del colágeno dentinario es el preferido debido a la buena conservación *post mortem* y a una relativa alta tasa de racemización. La racemización en dentina es afectada por la ubicación anatómica de la muestra debido a la diferencia en formación cronológica de la corona y la raíz, y por la temperatura; las distintas caras de los dientes tienen distintos niveles de racemización.⁸ Para disminuir estas variables, algunos autores han desarrollado una técnica estandarizada, tomando las muestras en ubicaciones predeterminadas y en ciertos dientes, y almacenándolas en lugares donde se tiene control de los factores ambientales. Waite et al²⁴ la definen como una técnica simple y altamente costo-efectiva. El error estándar cronológico es de ± 3 años.

b) Absorción de carbono 14 en esmalte

Los niveles mundiales de carbono 14 aumentaron debido a las pruebas nucleares realizadas sobre el suelo durante

the years 1955-1963. This carbon was absorbed as carbon dioxide by plants and then ingested by animals and humans. In the year 2005, Spalding et al²⁵ reported the possibility of determining the date of birth independently from the date of death, with an average error rate of ± 1.6 years. Carbon 14 levels have declined over the years and therefore the results have varied, but at the same time the technology has improved, and now the tests are more reliable.

c) Dental fluorescence

Dental fluorescence is the latest method for the practical application of forensic dentistry. It states that the physiological and pathological changes suffered by dental tissues during a person's life are reflected in different levels of fluorescence. Over the years, the enamel becomes more mineralized, smooth and thin, increasing in translucency. The dentin becomes less permeable by the increase of peritubular dentine and mineralization. In 2013, through a photographic colorimetric analysis, Da Silva et al⁵ assessed fluorescence in intact upper central incisors of individuals of different age groups. They concluded that fluorescence is stable between the ages of 7 and 20 years, reaching its highest values at the age of 26.5 years, and then decreasing over the years; these values are statistically significant. This contrasts with the study by Matsumoto et al in 1999,⁷ who by means of an in vitro analysis of fluorescence with a microphotometer concluded that fluorescence increases with age. In addition, they claim that this phenomenon is directly dependent on temperature, meaning that the higher the temperature (50° C) the higher the fluorescence. They also discovered that the values can increase over time, even on extracted teeth. This discrepancy validates the need for further studies on this method to solve the current controversy.

los años 1955-1963. Este carbono fue absorbido como dióxido de carbono por las plantas e ingerido después por los animales y humanos. En el año 2005, Spalding et al²⁵ reportaron la posibilidad de determinar la fecha de nacimiento independiente de la fecha de muerte, con una tasa de error promedio de $\pm 1,6$ años. Los niveles de carbono 14 han disminuido con los años, por lo que los resultados han variado, pero a su vez ha mejorado la tecnología, lo que ha hecho que las pruebas sean más confiables.

c) Fluorescencia dentaria

La fluorescencia dentaria es el método más reciente como aplicación práctica para la odontología forense. Se sustenta en que los cambios fisiológicos y patológicos que sufren los tejidos dentarios durante la vida de los individuos se reflejan en distintos niveles de fluorescencia. Con el paso de los años, el esmalte se vuelve más mineralizado, liso y delgado, aumentando su translucidez. La dentina se vuelve menos permeable por el aumento de la dentina peritubular y la mineralización. En el año 2013, mediante un análisis fotográfico colorimétrico, Da Silva et al⁵ evaluaron la fluorescencia en incisivos centrales superiores indemnes de individuos de distintos grupos etarios. Concluyeron que la fluorescencia tiene un comportamiento estable de los 7 a los 20 años, alcanzando sus mayores valores a los 26,5 años y después decrece con el paso de los años, siendo estos valores estadísticamente significativos. Esto se opone al estudio de Matsumoto et al en 1999,⁷ quienes, mediante análisis in vitro de la fluorescencia con microfotómetro, concluyeron que la fluorescencia aumenta con la edad. Además afirmaron que este fenómeno es directamente dependiente de la temperatura, lo que significó que a mayores valores de temperatura (50° C) incrementa la fluorescencia. A su vez, descubrieron que los valores pueden aumentar con el paso del tiempo, incluso en dientes extraídos. Esta discrepancia muestra la necesidad de profundizar el estudio de este método y aclarar la controversia que hoy se observa.

Because of the renewed interest in the determination of the chronological age as a practical application of forensic dentistry, further studies are needed to provide better and more standardized information and to offer scientific evidence for different populations, in order to define the age of individuals more accurately, and thus meet the needs of current multicultural populations.

CONCLUSIONS

Most methods included in this study involve some degree of invasion to the subject under study—from irradiation to obtain a radiographic image to tooth extraction to conduct biochemical tests—. In addition, none of these techniques is accurate on its own, so it is recommended to combine different measurement techniques, opening the doors to a field of research for less invasive techniques as a complement to the existing ones. Finally, the available information suggest that research on populations of African and Asian origin is lacking, representing a new challenge due to globalization, migrations, and the heterogeneity of current populations.

CONFLICT OF INTEREST

The authors declare that they have no conflicts of interest.

CORRESPONDING AUTHOR

Catalina Ugalde Barahona
Escuela de Odontología Universidad Mayor de Santiago
(+569) 659 811 94
cataugalde@gmail.com
Alameda 2012, RM
Santiago, Chile

Debido al renovado interés observado en la determinación de la edad cronológica como una aplicación práctica para la odontología forense, es necesario realizar estudios que proporcionen información de mayor calidad y estandarización, destinada a aportar evidencia científica diferenciada según poblaciones, que permita definir con mayor exactitud la edad de los individuos, y así satisfacer las necesidades que se presentan actualmente en una población multicultural.

CONCLUSIONES

La mayoría de los métodos estudiados representan algún grado de invasión al sujeto investigado—desde la irradiación para lograr una imagen radiográfica hasta la extracción del diente del alveolo para determinación de pruebas bioquímicas—. Además, ninguna de estas técnicas es exacta por sí sola, por lo que se recomienda combinar distintas técnicas de medición, abriendo un campo de investigación a técnicas menos invasivas que puedan ser un complemento a las ya existentes. Finalmente, con la información disponible podemos determinar que faltan investigaciones sobre poblaciones de origen africano y asiático, lo cual representa un nuevo desafío en la actualidad debido a la globalización, a las migraciones y a la heterogeneidad en las poblaciones actuales.

CONFLICTO DE INTERESES

Los autores declaran que no tienen conflictos de intereses.

CORRESPONDENCIA

Catalina Ugalde Barahona
Escuela de Odontología Universidad Mayor de Santiago
(+569) 659 811 94
cataugalde@gmail.com
Alameda 2012, RM
Santiago, Chile

REFERENCES / REFERENCIAS

1. Pittayapat P, Jacobs R, De-Valck E, Vandermeulen D, Willems G. Forensic odontology in the disaster victim identification process. *J Forensic Odontostomatol.* 2012; 30(1): 1-12.
2. Lewis JM, Senn DR. Dental age estimation utilizing third molar development: A review of principles, methods, and population studies used in the United States. *Forensic Sci Int.* 2010; 201(1-3): 79-83. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2010.04.042>
3. Schmeling A, Olze A, Reisinger W, Geserick G. Forensic age diagnostics of living people undergoing criminal proceedings. *Forensic Sci Int.* 2004; 144(2-3): 243-245. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2004.04.059>
4. Solheim T, Vonon A. Dental age estimation, quality assurance and age estimation of asylum seekers in Norway. *Forensic Sci Int.* 2006; 159 (Suppl 1): S56-S60. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2006.02.016>
5. Da-Silva RD, da Silva MAD, de Oliveira OB, Melo ACM, de Oliveira RN. Dental fluorescence: potential forensic use. *Forensic Sci Int.* 2013; 231(1-3): 167-171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.05.001>
6. Ritz-Timme S, Rochholz G, Schütz HW, Collins MJ, Waite ER, Cattaneo C et al. Quality assurance in age estimation based on aspartic acid racemisation. *Int J Legal Med.* 2000; 114(1-2): 83-86.
7. Matsumoto H, Kitamura S, Araki T. Autofluorescence in human dentine in relation to age, tooth type and temperature measured by nanosecond time-resolved fluorescence microscopy. *Arch Oral Biol.* 1999; 44(4): 309-318.
8. Senn DR, Weems RA. *Manual of forensic odontology.* 5ed. Boca Ratón, Florida: CRC Press Taylor & Francis Group; 2013. DOI: <https://doi.org/10.1201/b13744>
9. Demirjian A, Goldstein H, Tanner JM. A new system of dental age assessment. *Hum Biol.* 1973; 45(2): 211-227.
10. Solheim T. A new method for dental age estimation in adults. *Forensic Sci Int.* 1993; 59(2): 137-147.
11. Kvaal SI, Kolltveit KM, Thomsen IO, Solheim T. Age estimation of adults from dental radiographs. *Forensic Sci Int.* 1995; 74(3): 175-185.
12. Kvaal S, Solheim T. A non-destructive dental method for age estimation. *J Forensic Odontostomatol.* 1994; 12(1): 6-11.
13. Gustafson G. Age determination on teeth. *J Am Dent Assoc.* 1950; 41(1): 45-54.
14. Karkhanis S, Mack P, Franklin D. Age estimation standards for a Western Australian population using the dental age estimation technique developed by Kvaal et al. *Forensic Sci Int.* 2014; 235: 104.e1-104.e6. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2013.12.008>
15. Duarte-da-Silva R, Duarte-da-Silva MA, Yumi-Uezono A, Borges-Braga-dos-Santos-Queiroz S, Nogueira-de-Oliveira R. Estimating age of Brazilians using the methods of Demirjian and Nicodemo, Moraes and Médici: a comparative analysis. *Forensic Med Anat Res.* 2013; 1(3): 57-62. DOI: <http://dx.doi.org/10.4236/fmar.2013.13011>
16. Raut DL, Mody R. Radiographic evaluation of cervical vertebrae, carpal metacarpal bones and mandibular third, molar during adolescence and in young adults. *J Indian Acad Oral Med Radiol.* 2006; 18(1): 24-29.
17. Cameriere R, Ferrante L, Cingolani M. Precision and reliability of pulp/tooth area ratio (RA) of second molar as indicator of adult age. *J Forensic Sci.* 2004; 49(6): 1319-1323.
18. Mincer HH, Harris EF, Berryman HE. The A.B.F.O. study of third molar development and its use as an estimator of chronological age. *J Forensic Sci.* 1993; 38(2): 379-390.
19. Lucy D, Pollard AM. Further comments on the estimation of error associated with the Gustafson dental age estimation method. *J Forensic Sci.* 1995; 40(2): 222-227.
20. Smith BG, Knight JK. An index for measuring the wear of teeth. *Br Dent J.* 1984; 156(12): 435-438.
21. Stott GG, Sis RF, Levy BM. Cemental annulation as an age criterion in forensic dentistry. *J Dent Res.* 1982; 61(6): 814-817. DOI: <https://doi.org/10.1177/00220345820610063401>
22. Wittwer-Backofen U, Gampe J, Vaupel JW. Tooth cementum annulation for age estimation: results from a large known-age validation study. *Am J Phys Anthropol.* 2004; 123(2): 119-129. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajpa.10303>
23. Drusini A, Calliari I, Volpe A. Root dentine transparency: age determination of human teeth using computerized densitometric analysis. *Am J Phys Anthropol.* 1991; 85(1): 25-30. DOI: <https://doi.org/10.1002/ajpa.1330850105>
24. Waite ER, Collins MJ, Ritz-Timme S, Schutz HW, Cattaneo C, Borrman HI. A review of the methodological aspects of aspartic acid racemization analysis for use in forensic science. *Forensic Sci Int.* 1999; 103(2): 113-124.
25. Spalding KL, Buchholz BA, Bergman LE, Druid H, Frisén J. Forensics: age written in teeth by nuclear tests. *Nature.* 2005; 437(7057): 333-334. DOI: <https://doi.org/10.1038/437333a>