
VALORACIÓN DE LOS MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DENTICIÓN MIXTA DE MOYERS Y TANAKA-JOHNSTON, EN LA PREDICCIÓN DEL DIÁMETRO MESIODISTAL DE CANINOS Y PREMOLARES NO ERUPCIONADOS¹

ASSESSMENT OF MOYERS AND TANAKA-JOHNSTON MIXED DENTITION ANALYSES FOR THE PREDICTION OF MESIODISTAL DIAMETERS OF UNERUPTED CANINES AND PREMOLARS

PAOLA MARÍA BOTERO², DIANA P. CUESTA³, SANDRA AGUDELO⁴, CATALINA HINCAPIÉ⁴ CAROLINA RAMÍREZ⁴

RESUMEN. Introducción: el objetivo de esta investigación fue valorar si los métodos de Moyers(M) percentil (p) 75, p85, p95 y Tanaka-Johnston(TJ), usados para predecir el diámetro mesiodistal de caninos y premolares no erupcionados, sobreestiman o subestiman el diámetro de sus respectivos sucedáneos. **Métodos:** estudio de evaluación tecnológica diagnóstica en 56 modelos de yeso de escolares de Medellín, clase I esquelética, incisivos, caninos y bicúspides permanentes erupcionados, seguidos desde 6 a 12 años de edad. Se midió el diámetro mesiodistal de los dientes y se aplicaron los métodos predictivos de Tanaka-Johnston, Moyers p75, p85, p95. Se comparó el valor predicho y el real, utilizando la prueba t-Student relacionada y la de Wilcoxon. La reproducibilidad de los métodos se calculó con los coeficiente de correlación intraclase (CCI) (IC95%), y el nivel, de acuerdo con los límites Bland y Altman al 95%. **Resultados:** en el arco superior se observaron diferencias significativas con el valor real en las mediciones de T-J y Mp95. En arco inferior todos los métodos fueron diferentes del valor real ($p > 0,05$), excepto Mp75. La reproducibilidad fue mayor en arco superior con T-J, seguido de Mp85; en el arco inferior el método de Mp75 tuvo mejor reproducibilidad, seguido de Mp85. En arco superior se encontró que T-J sobreestima la medición real en promedio 0,333 mm (IC95% 2,100;1,434), y en el arco inferior Mp75 sobreestima en 2,14 (IC95% -2,020;1,592). **Conclusión:** el mejor método predictivo para el arco superior es el de Tanaka-Johnston, y para el arco inferior es el de Moyers al percentil 75, aunque ambos sobreestiman el valor real, presentan adecuada reproducibilidad.

Palabras clave: predicción; reproducibilidad; diente no erupcionado.

Botero PM, Cuesta DP, Agudelo S, Hincapié C, Ramírez C. Valoración de los métodos de análisis de dentición mixta de Moyers y Tanaka-Johnston en la predicción del diámetro mesiodistal de caninos y premolares no erupcionados. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2014; 25(2): 359-371.

ABSTRACT. Introduction: the objective of this study was to determine whether the methods of Moyers (M) percentile (p) 75, p85, p95 and Tanaka-Johnston (TJ), used in the prediction of the mesiodistal diameter of unerupted canines and premolars, either overestimate or underestimate their respective succedaneous diameter. **Methods:** diagnostic technology assessment in 56 plaster models of schoolchildren from Medellín, with class I skeletal and permanent erupted incisors, canines, and bicuspids, with follow-ups from 6 to 12 years of age. The teeth mesiodistal diameter was measured by the predictive methods of Tanaka-Johnston and Moyers p75, p85, p95. The predicted and actual values were evaluated by means of related Student's t test and Wilcoxon test. These methods' reproducibility was calculated by intraclass correlation coefficient (ICC) (95% CI), and their level was calculated using Bland-Altman 95% limits. **Results:** in the upper arch, significant actual value differences were observed with the T-J and Mp95 measurements. In the lower arch, the values of all the methods were different to the actual value ($p > 0.05$), except Mp75. Reproducibility was higher in the upper arch with T-J, followed by Mp85; in the lower arch, Mp75 was the method with the best reproducibility, followed by Mp85. In the upper arch, T-J overestimates the actual measurement by 0,333 mm in average (95% CI 2.100;1.434), and in the lower arch Mp75 overestimates by 2.14 (95% CI -2,020;1.592). **Conclusion:** the best predictive method for the upper arch is Tanaka-Johnston, and for the lower arch, Moyers at the 75th percentile; although both methods overestimate the actual value, they show adequate reproducibility.

Key words: prediction; reproducibility, unerupted tooth.

Botero PM, Cuesta DP, Agudelo S, Hincapié C, Ramírez C. Assessment of Moyers and Tanaka-Johnston mixed dentition analyses for the prediction of mesiodistal diameters of unerupted canines and premolars. Rev Fac Odontol Univ Antioq 2014; 25(2): 359-371.

1 Proyecto de investigación financiado por el Comité Para El Desarrollo de la Investigación (CONADI), de la Universidad Cooperativa de Colombia.
2 Ortodoncista, Universidad CES, profesora asistente, Universidad Cooperativa de Colombia y Universidad CES, Medellín, Colombia.
3 MD., MSc en Epidemiología, Ph(c) Epidemiología, Universidad de Antioquia. Profesora, investigadora, Facultad de Medicina, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.
4 Ortodoncistas, Universidad Cooperativa de Colombia. Medellín, Colombia. Investigación para optar por el título de especialista.

1 Research project funded by Comité para el Desarrollo de la Investigación (CONADI), of Universidad Cooperativa de Colombia.
2 Orthodontist, Universidad CES, Assistant Professor, Universidad Cooperativa de Colombia and Universidad CES, Medellín, Colombia.
3 MD., MSc in Epidemiology, Ph(c) Epidemiology, Universidad de Antioquia. Professor, researcher, School of Medicine, Universidad Pontificia Bolivariana, Medellín, Colombia.
4 Orthodontists, Universidad Cooperativa de Colombia. Medellín, Colombia. Research project to earn the title of Specialist.

INTRODUCCIÓN

El apiñamiento dental es uno de los problemas que se presenta con mayor frecuencia en la población general. El apiñamiento dental está definido como la discrepancia que existe entre el tamaño del diente y el perímetro del arco.¹ Esta discrepancia se caracteriza porque no hay coincidencia en los puntos de contacto interproximal anatómico en dientes erupcionados, o porque los dientes son incapaces de hacer erupción, o lo hacen de forma ectópica.¹

El adecuado diagnóstico de una discrepancia dentoalveolar y un tratamiento realizado tempranamente, son claves para prevenir alteraciones oclusales que complican los tratamientos futuros en denticiones permanentes. En pacientes en dentición mixta, además de un análisis clínico, se debe realizar un análisis de modelos como parte de los registros necesarios para establecer un diagnóstico del paciente. El método de análisis de dentición mixta predice el tamaño mesiodistal de caninos y premolares permanentes, y es una herramienta diagnóstica que permite cuantificar el apiñamiento y predecir los problemas de discrepancia dentoalveolar, mediante el conocimiento del espacio disponible y necesario para los dientes que aún no han hecho erupción.²

Existen diferentes métodos de predicción basados en modelos, en radiografías y una combinación de ambos. Los métodos radiográficos basados en radiografías periapicales y cefálicas laterales de 45°, son los más precisos,³⁻⁵ pero requieren mayor tiempo de ejecución y uso de equipos especiales que los hacen menos prácticos.^{6,7} Por el contrario, los métodos no radiográficos, se basan en correlaciones y en ecuaciones de regresión lineal con tablas de predicción.^{8,9} La exactitud de estos métodos ha sido cuestionada cuando se aplica a grupos raciales o étnicos diferentes a la población que les dio origen.^{2,3,10,11}

El análisis de Moyers,¹⁰ un método no radiográfico, utiliza el diámetro mesiodistal de los cuatro incisivos inferiores permanentes, medidos en modelos de yeso y una tabla de predicción para caninos y premolares sin erupcionar, con percentiles desde el 50 hasta el 95 para niños

INTRODUCTION

Dental crowding is one of the most frequent problems in the general population. It is described as the discrepancy between tooth size and arch perimeter.¹ This discrepancy is characterized by a lack of coincidence in the anatomical interproximal contact points of erupted teeth, by teeth being unable to erupt, or by doing so in an ectopic manner.¹

Adequate diagnosis of dentoalveolar discrepancy and early treatment are pivotal in preventing occlusal alterations that complicate future treatments in permanent dentition. Besides clinical analysis, patients with mixed dentition require model analysis as part of the necessary data to establish a diagnosis. The method of mixed dentition analysis predicts the mesiodistal size of permanent canines and premolars and is a diagnostic tool that allows to quantify crowding and to predict dentoalveolar discrepancy by identifying the available and necessary space for teeth not yet erupted.²

There are several prediction methods based on models, x-rays, and a combination of both. Radiographic methods based on lateral periapical and 45° cephalic x-rays are the most accurate³⁻⁵ but they require more time and special equipment and are therefore less practical.^{6,7} On the contrary, non-radiographic methods are based on correlations and linear regression equations with prediction tables.^{8,9} The accuracy of these methods has been questioned when applied to racial or ethnic groups other than the population in which they originated.^{2,3,10,11}

Moyers analysis,¹⁰ a non-radiographic method, uses mesiodistal diameter of four permanent lower incisors, measured in plaster models, and a prediction table for non-erupted canines and premolars, with percentiles ranging from 50 to 95 for

norteamericanos. El percentil 75 es recomendado cuando se aplica el análisis a diferentes poblaciones, mientras que el percentil 85 y 95, al tener un rango más preciso, pueden sobreestimar el verdadero valor.^{11, 12} Por otra parte, el análisis de Tanaka-Johnston⁷ utiliza la misma referencia de los cuatro incisivos permanentes, pero establece una constante y una fórmula basada en un modelo predictivo de una ecuación para aplicar en cada arco.

El reconocimiento del error de estimación inherente al método, junto con los factores biológicos, ambientales, asociados al impacto de las diversas costumbres socioculturales, hacen que inevitablemente disminuya la exactitud teórica de la aplicación de los métodos de predicción de Moyers y Tanaka-Johnston en la población colombiana.¹³⁻¹⁵ Algunos autores han realizado estudios en los cuales comparan los métodos de predicción con los resultados reales, en poblaciones diferentes, para determinar si los distintos métodos funcionan, y de ellos, cuál es más preciso.^{8, 16-22} Algunos de estos estudios mostraron, por ejemplo, que el método de Tanaka-Johnston subestima el tamaño dental real, mientras que el método de Moyers se puede utilizar efectivamente en los diferentes percentiles para ambos sexos, con cierto grado de sobreestimación.

Varios estudios han mostrado diferencias en los coeficientes de correlación en diferentes grupos étnicos,^{10, 22} con una variabilidad en los resultados entre -0,01 a 3 mm.^{16, 17, 19, 23, 24} Clínicamente una sobrestimación en cada arco puede generar una extracción seriada en pacientes clase I esquelética, con adecuado perfil y con apiñamiento moderado (4 a 7 mm).^{17, 22} Finalmente, la combinación de ambos métodos ha sido probada como más precisa.^{5, 13, 18}

El objetivo de este estudio es valorar si los métodos de Tanaka-Johnston y Moyers, aplicando los percentiles 75, 85 y 95, usados para predecir el diámetro mesiodistal de caninos y premolares no erupcionados, sobreestiman o subestiman el diámetro de sus respectivos sucedáneos.

American children. Percentile 75 is recommended when applying the analysis in different populations, while percentiles 85 and 95 may overestimate the actual value, since they have more accurate ranges.^{11, 12} On the other hand, the Tanaka-Johnston analysis⁷ uses the same reference from the four permanent incisors but establishes a constant and a formula based on a predictive model of an equation to be applied on each arch.

Recognizing the estimation error of each method, as well as biological and environmental factors associated with the impact of the various socio-cultural customs, inevitably decreases the theoretical accuracy of Moyers and Tanaka-Johnston prediction methods in Colombian populations.¹³⁻¹⁵ Several authors have conducted studies to compare prediction methods and actual results in different populations, in order to determine if the methods really work and which the most accurate is.^{8, 16-22} Some of these studies have shown, for example, that the Tanaka-Johnston method underestimates actual tooth size, while the Moyers method can be effectively used in different percentiles for both sexes, with a certain degree of overestimation.

Several studies have shown coefficients of correlation differences among diverse ethnic groups,^{10, 22} with results ranging from -0.01 to 3 mm.^{16, 17, 19, 23, 24} Clinically, overestimation in each arch may generate serial extractions in patients with skeletal class I, adequate profile and moderate crowding (4 to 7 mm).^{17, 22} Finally, the combination of both methods has been proven to be more accurate.^{5, 13, 18}

The objective of this study is to determine whether the methods of Tanaka-Johnston and Moyers, applying the 75, 85 and 95 percentiles to predict the mesiodistal diameter of unerupted canines and premolars, either overestimate or underestimate the diameter of their respective succedaneous.

MÉTODOS

Se realizó un estudio de evaluación tecnológica diagnóstica en 139 escolares de Medellín, que presentaban clase I esquelética, con incisivos permanentes, caninos y bicúspides erupcionados. Los estudiantes fueron seguidos desde los 6 hasta los 12 años de edad por otro estudio efectuado en la Universidad de Antioquia, en el cual se obtuvo un consentimiento informado firmado para participar en el estudio.²¹ A los pacientes se les tomaron modelos anualmente (hechos por un solo operador, con técnica estandarizada, usando un hidrocoloide irreversible y yeso piedra tipo III, según indicaciones del fabricante), se les hicieron procedimientos de promoción, prevención y operatoria para mantenerlos sanos, y no se les realizó ningún tratamiento ortodóntico durante la duración del estudio.²¹

Del grupo de 139 escolares, se seleccionaron por conveniencia una muestra de 56 escolares (112 pares de modelos, 2 pares por paciente), que cumplieran los siguientes criterios de inclusión: buen estado del modelo de yeso, ausencia de burbujas o dientes quebrados, el primer modelo obtenido de cada paciente en etapa de dentición mixta inicial o intertransicional, como mínimo debía tener dos centrales y un lateral inferior erupcionados completamente, para el segundo modelo el paciente debía estar en etapa de dentición permanente temprana, con caninos y bicúspides completamente erupcionados en uno de los dos lados de cada arcada (superior e inferior).

En estos modelos, se tomaron las medidas del diámetro mesiodistal del canino superior, primer premolar superior, segundo premolar superior, incisivo central inferior, incisivo lateral inferior, canino inferior, primer premolar inferior y segundo premolar inferior, en el punto de máximo diámetro mesiodistal, utilizando un microscopio electrónico digital con una precisión de 0,001mm (Leitz, Alemania), en el laboratorio de metrología de la Universidad EAFIT en Medellín, Colombia, de acuerdo con el sistema internacional de unidades (SI). Se realizaron tres réplicas por medición para proporcionarle validez al estudio, y se utilizó el promedio de las tres.

METHODS

This was a diagnostic technology assessment on 139 schoolchildren from Medellín, presenting skeletal class I, with permanent incisors and erupted canines and bicuspid. The students were monitored since they were 6 until the age of 12 years by another study conducted at Universidad de Antioquia, for which a signed informed consent was obtained from each participant.²¹ The patients' models were made annually (by a single operator, with a standardized technique, using an irreversible hydrocolloid and plaster stone type III, according to the manufacturer's instructions). Patients participated in promotion, prevention, and restorative procedures to help them remain healthy, and were not subjected to orthodontic treatment during the time of the study.²¹

A convenience sample of 56 kids (112 pairs of models, 2 pairs per patient) was chosen from the group of 139 schoolchildren, as they met the following inclusion criteria: good plaster model conditions, absence of air bubbles or broken teeth, the first model, obtained from each patient at initial, mixed, or intertransitional dentition stages, should have at least two central and one lower lateral incisor fully erupted, and for the second model the patient should be in the early permanent dentition stage, with canines and bicuspid fully erupted in one of the two sides of each arch (upper and lower).

Models were used to measure the mesiodistal diameter of the following teeth: upper canine, first upper premolar, second upper premolar, lower central incisor, lower lateral incisor, lower canine, first lower premolar, and second lower premolar, at the point of maximum mesiodistal diameter, using a digital electron microscope with an accuracy of 0.001 mm (Leitz, Germany) at Universidad EAFIT metrology laboratory (Medellín, Colombia), according to the international system of units (SI). Three replicates

Las mediciones fueron realizadas por un solo operador experto estandarizado. Solo se midieron los dientes del lado derecho de cada arco y su medida duplicada para ambos lados, debido a que estudios previos muestran que no existen diferencias, estadísticamente significativas, entre el tamaño dental del lado derecho y el izquierdo, en un mismo paciente.^{20, 25}

Posteriormente se llevó a cabo la predicción de caninos y bicúspides, aplicando los análisis de Tanaka-Johnston y Moyers, con percentil 75, 85, 95, con base en las mediciones obtenidas del primer modelo de cada paciente, y cumpliendo paso a paso lo sugerido por los autores de dicho análisis.^{7, 9}

Análisis estadístico

Se hizo un análisis univariado para describir las medidas de frecuencia de los valores reales y predichos, y su variación con la aplicación del método de Moyers (percentiles 75, 85 y 95) y de Tanaka-Johnston.

Se aplicó la prueba de Kolmogorov-Smirnov con corrección de Lilliefors, para evaluar la distribución normal de las variables continuas. Se realizó un análisis bivariado para comparar el valor predicho y el real con cada método, utilizando la prueba de t-Student relacionada o la prueba de Wilcoxon, según la distribución de la variable.

Se calculó el coeficiente de correlación intraclase CCI y su intervalo de confianza de 95% para evaluar la reproducibilidad, así como el Coeficiente de Lin (concordancia) entre cada uno de los métodos predictivos (Tanaka-Johnston y Moyers) y el valor real medido en dentición permanente. El margen de acuerdo entre los métodos se determinó con los límites del 95% Bland y Altman.²⁶ Para interpretar la reproducibilidad, se utilizó el criterio de Altman, así: pobre ($\leq 0,20$), aceptable (0,21-0,40), moderada (0,41 y 0,60), buena (entre 0,61 y 0,80) y excelente cuando eran valores mayores a 0,80 y hasta 1,00.²⁷ Los valores negativos fueron interpretados como iguales a 0,0. El *software* STATA v.9.0 fue utilizado para el análisis estadístico.

per measurement were performed in order to provide validity to the study, and the average of the three measures was used. The measurements were performed by a single standardized skilled operator. Only the teeth on the right side of each arch were measured and their values were duplicated for both sides, since previous studies have shown that there are no significant statistical differences in terms of size of the right and left sides in the same patient.^{20, 25}

Prediction of canines and bicuspid was performed by means of the analyses of Tanaka-Johnston and Moyers, with 75, 85, 95 percentile, based on the measurements obtained from the first model of each patient, carefully following the steps suggested by the creators of each method.^{7, 9}

Statistical analysis

Univariate analysis was conducted in order to describe the measures of frequency of predicted and actual values and their variation after applying the methods of Moyers (75, 85 and 95 percentiles) and Tanaka-Johnston.

The Kolmogorov-Smirnov test with Lilliefors' correction was used to evaluate the normal distribution of continuous variables. A bivariate analysis was performed to compare predicted and actual values with each method, using the related Student's t test or Wilcoxon test, according to the distribution of the variable.

Intraclass correlation coefficient (ICC) and its confidence interval of 95% were calculated in order to assess reproducibility, and Lin's coefficient (concordance) was also calculated between each of the predictive methods (Tanaka-Johnston and Moyers) and the actual value in permanent dentition. The limit of agreement between the methods was calculated with Bland-Altman 95% limits.²⁶ To interpret reproducibility, Altman's criterion was used as follows: poor (≤ 0.20), acceptable (0.21-0.40), moderate (0.41 and 0.60), good (between 0.61 and 0.80), and excellent values were those higher than 0.80 up to 1.00.²⁷ Negative values were those equal to 0.0. The STATA v.9.0 software was used for statistical analysis.

RESULTADOS

De los 56 modelos seleccionados, 39 eran de pacientes de sexo femenino (68%) y 17 de sexo masculino (32%). Al comparar los valores de predicción con el valor real de los dientes permanentes para el arco superior, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la predicción de Moyers p95 (valor $p = 0,004$, magnitud de la diferencia: 22,10-23,10) y para Tanaka-Johnston (valor $p = 0,008$, magnitud de la diferencia: 21,99-22,97). Mientras que en el arco inferior ningún método, con excepción al de Moyers p75 ($p = 0,090$, magnitud de la diferencia: 21,00-22,30), mostró diferencias estadísticamente significativas (tabla 1).

RESULTS

Of the 56 chosen models, 39 were of female patients (68%) and 17 of male patients (32%). In comparing prediction values and actual values of permanent teeth in the upper arch, statistically significant differences were found in Moyers p95 prediction ($p = 0.004$, magnitude of difference: 22.10-23.10) and Tanaka-Johnston prediction ($p = 0.008$, magnitude of difference: 21.99-22.97). In terms of the lower arch, no method showed statistically significant differences, with the exception of Moyers p75 ($p = 0.090$, magnitude of difference: 21.00-22.30) (table 1).

Tabla 1. Descripción de las mediciones de los dientes según diferentes métodos de predicción

Método	Arco superior			Arco inferior		
	Promedio (D. E.)	Mediana (RIQ)	T Student Valor P	Promedio (D. E.)	Mediana (RIQ)	T Student Valor P
Tanaka-Johnston	22,490 (0,71)	22,57 (21,99-22,97)	0,008	21,990 (0,710)	22,07 (21,49-22,47)	<0,0001
Moyers p75	21,587 (0,610)	21,50 (21,20-22,10)*	0,084**	21,558 (0,750)	21,60 (21,00-22,30)	0,090
Moyers p85	21,925 (0,594)	21,80 (21,50-22,40)*	0,095**	21,989 (0,752)	22,00 (21,50-22,70)	<0,001
Moyers p95	22,541 (0,568)	22,50 (22,10-23,10)*	0,004**	22,725 (0,765)	22,70 (22,20-23,50)	<0,001
Valor real	22,160 (1,310)	22,17 (21,24-23,11)	-	21,340 (1,340)	21,23 (20,33-22,01)	-

*Distribución no normal **Wilcoxon test

Table 1. Description of teeth measurements according to different prediction methods

Method	Upper arch			Lower arch		
	Average (S. D.)	Median (RIQ)	Student's t p value	Average (S. D.)	Median (RIQ)	Student's t p value
Tanaka-Johnston	22.490 (0.710)	22.57 (21.99-22.97)	0.008	21.990 (0.710)	22.07 (21.49-22.47)	< 0.0001
Moyers p75	21.587 (0.610)	21.50 (21.20-22.10)*	0.084**	21.558 (0.750)	21.60 (21.00-22.30)	0.090
Moyers p85	21.925 (0.594)	21.80 (21.50-22.40)*	0.095**	21.989 (0.752)	22.00 (21.50-22.70)	< 0.001
Moyers p95	22.541 (0.568)	22.50 (22.10-23.10)*	0.004**	22.725 (0.765)	22.70 (22.20-23.50)	< 0.001
Actual value	22.160 (1.310)	22.17 (21.24-23.11)	-	21.340 (1.34)	21.23 (20.33-22.01)	-

* Non-normal distribution ** Wilcoxon test

El método de Tanaka-Johnston mostró mayor reproducibilidad en el maxilar, con un CCI de 0,611 (IC95% 0,402; 0,758), seguido de Moyers p85, con un CCI de 0,543 (IC95% 0,330; 0,705) (tabla 2). El porcentaje de concordancia fue realizado usando el coeficiente de Lin, siendo mayor para Tanaka-Johnston (60,7%) y Moyers p85 (53,9%). La mayor reproducibilidad, entre el valor real y el valor predicho, fue en el arco inferior para Moyers p75 (CCI = 0,634; IC95% 0,447-0,768, porcentaje Lin = 63), y Moyers p85 (CCI = 0,558; IC95% 0,185- 0,760, porcentaje Lin = 55,4) (tabla 2).

El método de Moyers subestima el valor real, con una diferencia de 0,576 mm y 0,238 mm para p85 en el arco superior. Por el contrario, Tanaka-Johnston y Moyers p95 sobrestiman el valor real, con diferencias de -0,333 mm y -0,379 mm respectivamente.

The Tanaka-Johnston method showed greater reproducibility in the maxillary, with an ICC of 0,611 (95% CI 0.402; 0.758). followed by Moyers p85, with an ICC of 0.543 (95% CI 0.330; 0.705) (table 2). The percentage of concordance was calculated using Lin's coefficient, with higher values for Tanaka-Johnston (60.7%) and Moyers p85 (53.9%). The highest reproducibility between the actual value and the predicted value occurred in the lower arch using Moyers p75 (ICC = 0.634; 95% CI 0.447-0.768, Lin's percentage = 63) and Moyers p85 (ICC = 0.558; 95% CI 0.185-0.760, Lin's percentage = 55.4) (table 2).

Moyers method underestimates the actual value, with a difference of 0.576 mm and 0.238 mm for p85 in the upper arch. On the contrary, Tanaka-Johnston and Moyers p95 overestimate the actual value, with differences of -0.333 mm and -0.379 mm respectively.

Tabla 2. Coeficientes de correlación intraclass y límites de acuerdo del 95% de la diferencia, entre el tamaño real erupcionado y el valor de la predicción del tamaño de los dientes caninos y premolares no erupcionados

Método	CCI21 (IC95%)	Coefficiente de Lin	Diferencia promedio (D,S)	Límites de acuerdo del 95% Bland y Altman
Arco superior				
Tanaka-Johnston	0,6117 (0,402-0,758)	0,607	-0,333 (0,902)	-2,100, 1,434
Moyers p75	0,4870 (0,183-0,690)	0,482	0,576 (0,965)	-1,316, 2,468
Moyers p85	0,5435 (0,330-0,705)	0,539	0,238 (0,964)	-1,653, 2,128
Moyers p95	0,5148 (0,281-0,689)	0,510	-0,379 (0,965)	-2,271, 1,514
Arco inferior				
Tanaka-Johnston	0,5080 (0,163-0,717)	0,503	-0,652 (0,965)	-2,544, 1,239
Moyers p75	0,6340 (0,447-0,768)	0,630	-0,214 (0,922)	-2,020, 1,592
Moyers p85	0,5581 (0,185-0,760)	0,554	-0,645 (0,907)	-2,423, 1,132
Moyers p95	0,3679 (0,281-0,689)	0,364	-1,382 (0,902)	-3,149, 0,385

Table 2. Intraclass correlation coefficients and 95% limits of agreement of the difference between the actual erupted size and the predicted value of the size of non-erupted canines and premolars

Method	ICC 21 (95% CI)	Lin's Coefficient	Mean difference (S. D.)	Bland-Altman 95% limits of agreement
Upper arch				
Tanaka-Johnston	0.6117 (0.402-0.758)	0.607	-0.333 (0.902)	-2.100. 1.434
Moyers p75	0.4870 (0.183-0.690)	0.482	0.576 (0.965)	-1.316. 2.468
Moyers p85	0.5435 (0.330-0.705)	0.539	0.238 (0.964)	-1.653. 2.128
Moyers p95	0.5148 (0.281-0.689)	0.510	-0.379 (0.965)	-2.271. 1.514
Lower arch				
Tanaka-Johnston	0.5080 (0.163-0.717)	0.503	-0.652 (0.965)	-2.544. 1.239
Moyers p75	0.6340 (0.447-0.768)	0.630	-0.214 (0.922)	-2.020. 1.592
Moyers p85	0.5581 (0.185-0.760)	0.554	-0.645 (0.907)	-2.423. 1.132
Moyers p95	0.3679 (0.281-0.689)	0.364	-1.382 (0.902)	-3.149. 0.385

Para el arco inferior, ambos métodos sobrestimaron el valor real de los dientes permanentes, donde Tanaka-Johnston mostró la mayor cantidad de sobrestimación, con una diferencia en tamaño dental de -0,652 mm, seguido por Moyers p85, con una diferencia promedio de -0,645 mm (tabla 2).

Cuando el valor predicho en el maxilar obtenido mediante el método de Tanaka-Johnston es cercano a 23 mm, se considera que existe una perfecta concordancia con el valor real. Si el valor predicho está por encima de 23 mm, se considera que el método sobreestima el valor real; por el contrario, si el valor es menor, se establece una subestimación (figura 1). Moyers p75 muestra una tendencia similar, cuando el valor predicho es 22 mm para la mandíbula (figura 2).

In the lower arch, both methods overestimated the actual value of permanent teeth, and Tanaka-Johnston showed the greatest amount of overestimation, with a difference in tooth size of -0.652 mm, followed by Moyers p85, with an average difference of -0.645 mm (table 2).

When the predicted value obtained in the maxilla using the Tanaka-Johnston method is close to 23 mm, there is perfect concordance with the actual value. If the predicted value is above 23 mm, the method is considered to overestimate the actual value; by contrast, if the value is lower, underestimation is considered (figure 1). Moyers p75 shows a similar tendency when the predicted value is 22 mm in the mandible (figure 2).

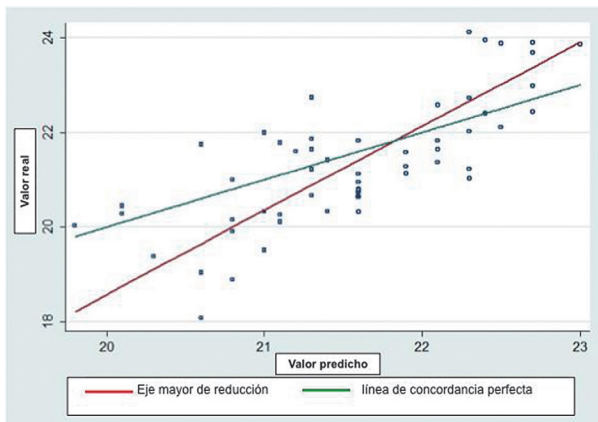


Figura 1. Diferencia de las mediciones de Tanaka-Johnston respecto al acuerdo perfecto de 45°, en arco superior

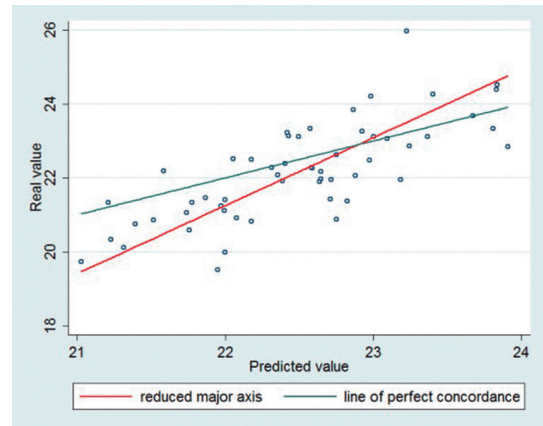


Figure 1. Difference of Tanaka-Johnston measurements in relation to the 45° perfect agreement in the upper arch

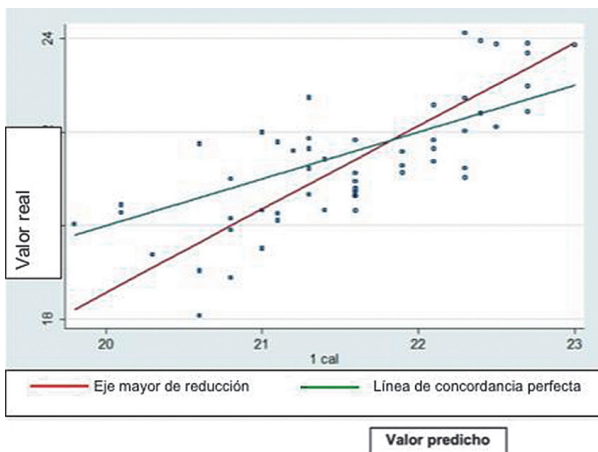


Figura 2. Diferencia de las mediciones de Moyers p75 respecto al acuerdo perfecto de 45°, en arco inferior

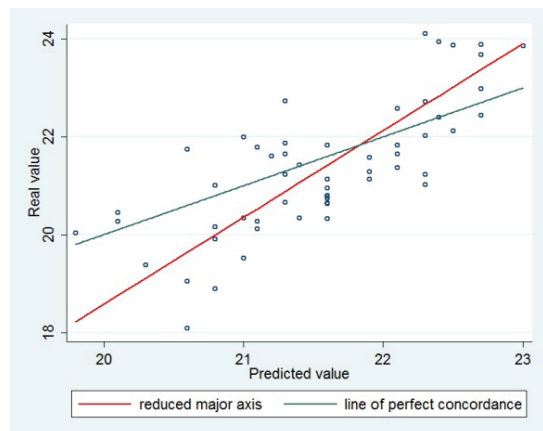


Figure 2. Difference of Moyers p75 measurements in relation to the 45° perfect agreement in the lower arch

DISCUSIÓN

Los resultados del estudio muestran que los análisis de dentición mixta de Moyers y Tanaka-Johnston, sobrestiman el valor real de los dientes permanentes. El mejor método predictivo del tamaño dental para el arco superior es Tanaka-Johnston, mientras que el de Moyers p75 es el mejor para el arco inferior; a pesar de que sobrestiman el valor real, muestran una alta reproducibilidad (tabla 2).

Los resultados del estudio original de Tanaka-Johnston muestra que los incisivos centrales inferiores tienen una correlación de $r^2 = 0,625$ para caninos y premolares superiores, y de $r^2 = 0,648$ para caninos y premolares inferiores. Estos resultados están de acuerdo con los de Ballard y Willye ($r^2 = 0,64$). Los coeficientes de correlación lineal, usados para comparar los valores reales con los predichos, solo estiman asociaciones entre ellos, pero no evalúan su reproducibilidad. Correlaciones de $r^2 = 0,603$ y $r^2 = 0,468$ fueron obtenidas, por el presente estudio, para el método de Tanaka-Johnston para el arco superior e inferior, respectivamente. Esta correlación es más baja que la encontrada en el estudio original.⁷

El grado de subestimación y sobreestimación publicada en la literatura puede ser estadísticamente significativa, pero clínicamente irrelevante. Sin embargo, una diferencia de 2 mm puede ser clínicamente significativa en los casos en los que se debe tomar la decisión de realizar una extracción seriada en pacientes con apiñamiento moderado.^{17, 28 29} En el presente estudio, el método más reproducible para el arco superior, mostró una sobreestimación de 2,10 mm y una subestimación de 1,43 mm para el lado derecho. Para el arco inferior, el método con mayor reproducibilidad mostró una sobreestimación de 2,02 mm y una subestimación de 1,59 mm por lado.

Estudios previos, que han aplicado los métodos de Moyers y Tanaka-Johnston en diferentes poblaciones, han comparado sus resultados usando el coeficiente de correlación lineal de Pearson,^{6, 16, 20, 29-31} y sus resultados han determinado el grado de asociación entre dos variables cuantitativas sin definir la dependencia entre ellas. Este método no es adecuado para determinar

DISCUSSION

The results of this study show that Moyers and Tanaka-Johnston mixed dentition analyses overestimate the actual value of permanent teeth. The best tooth size prediction method for the upper arch is Tanaka-Johnston, while Moyers p75 is the best for the lower arch; even though they overestimate actual values, they show high reproducibility (table 2).

Results of the original Tanaka-Johnston study show that lower central incisors have a correlation of $r^2 = 0.625$ for upper canines and premolars, and $r^2 = 0.648$ for lower canines and premolars. These results agree with those of Ballard and Willye ($r^2 = 0.64$). Linear correlation coefficients, used to compare predictions and actual values, only estimate the associations between them but do not evaluate reproducibility. In this study, correlations of $r^2 = 0.603$ and $r^2 = 0.468$ were obtained with the Tanaka-Johnston method in the upper and lower arch, respectively. This correlation is lower than that of the original study.⁷

The degree of underestimation and overestimation reported in the literature may be statistically significant but clinically irrelevant. However, a difference of 2 mm can be clinically significant in cases in which the decision for a serial extraction in patients with moderate crowding extraction must be taken.^{17, 28 29} In the present study, the most reproducible method for the upper arch showed an overestimation of 2.10 mm and an underestimation of 1.43 mm on the right side. In the lower arch, the method with the highest reproducibility showed 2.02 mm overestimation and 1.59 mm underestimation on each side.

Previous studies applying the methods of Moyers and Tanaka-Johnston in different populations have compared their results by using Pearson's coefficient of linear correlation^{6, 16, 20, 29-31} and their results have determined the degree of association between two quantitative variables without defining dependence between them. This method is not suitable to

reproducibilidad o la correlación entre medidas²² como las realizadas en el presente estudio.

Existen diferencias entre los instrumentos usados para las mediciones de los tamaños dentales en modelos en los diferentes estudios reportados, lo que hace difícil la comparación entre ellos. Moyers, en su investigación original, empleó un microscopio óptico (Optocom).¹⁰ Tanaka-Johnston emplearon un calibrador de vernier, con una precisión de 0,05 mm.⁷ Bishara empleó un compás de doble punta²² e Ingervall un calibrador deslizante;²³ mientras otros usaron calibradores digitales con precisiones variables entre 0,01, 0,02 y 0,03 mm).^{17, 25, 31, 32} En el presente estudio, se empleó un microscopio digital con una precisión de 0,001 mm, con el objetivo de evitar el desgaste del modelo durante las mediciones a repetición y así obtener mejor precisión. Las diferencias entre los instrumentos pueden crear variaciones, al comparar los diferentes estudios y, por tanto, variabilidad en los resultados.

Cuando se aplican diferentes métodos en la mayoría de los estudios, se encuentran resultados distintos. Una subestimación del tamaño real de los dientes fue encontrada al aplicar el método de Moyers p75,^{7, 10, 20} sobrestimación²³ y subestimación² fueron encontrados al usar el método de Tanaka-Johnston.

La morfología dental y el tamaño de los dientes están determinados genéticamente,^{14, 15, 23, 29} por lo tanto, establecer la aplicación y reproducibilidad de los análisis de dentición mixta en diferentes poblaciones es necesario.^{3, 6, 17, 20} En el estudio realizado por Pardo et al, se encuentra que, al aplicar análisis extranjeros en población colombiana, se aumenta el error del análisis entre un 13 a 42%.³¹ Las características raciales proveen heterogeneidad entre los individuos y pueden influenciar el tamaño dental.^{14, 17, 20, 33-35} Existen variaciones cuando se aplican los análisis de dentición mixta en poblaciones con diferentes orígenes étnicos.^{15, 33, 36} Sin embargo, hay que tener en cuenta que la muestra del presente estudio fue por conveniencia, lo que limita la comparación con otros estudios. Por lo tanto, los resultados obtenidos de este grupo de escolares demuestra que existen sub o sobre estimaciones que generarían errores en la predicción del tamaño dental y una discrepancia con el espacio existente.

determine reproducibility or the correlation among measures²² like the ones taken in the present study.

There are differences among the tooth size measurement instruments within the models used in the reported studies, making it difficult to compare them. In his original project, Moyers used an optical microscope (Optocom).¹⁰ Tanaka-Johnston used a Vernier scale with 0.05 mm precision.⁷ Bishara used a double bar compass²² and Ingervall a slide gauge;²³ other researchers used digital calipers with varying precision ranging from 0.01, 0.02 to 0.03 mm.^{17, 25, 31, 32} In the present study, we used a digital microscope with 0.001 mm precision in order to avoid model wear during the repeated measurements and to obtain better accuracy. Differences among the instruments can produce variations when comparing the different studies, and therefore variability in the results.

When different methods are used in most studies, a variety of results are obtained. Underestimation of teeth actual size occurred when applying the Moyers p75 method,^{7, 10, 20} but overestimation²³ and underestimation² were found using the Tanaka-Johnston method.

Dental morphology and teeth size are genetically determined;^{14, 15, 23, 29} therefore, it is necessary to establish application and reproducibility of mixed dentition analyses in different populations.^{3, 6, 17, 20} In the study by Pardo et al, they found out that applying foreign analyses in Colombian population increases error analysis from 13 to 42%.³¹ Racial characteristics create heterogeneity among individuals and can influence tooth size.^{14, 17, 20, 33-35} Variations occur when applying mixed dentition analyses in populations with different ethnic backgrounds.^{15, 33, 36} However, it should be noted that this study's sample was selected for convenience, which limits the comparison with other studies. Therefore, the results among this group of schoolchildren show over- and underestimations that may generate tooth size prediction errors and discrepancies with the existing space.

CONCLUSIONES

Se puede concluir que el uso de un solo método durante la práctica clínica, puede inducir grandes variaciones en la predicción del tamaño dental y, por tanto, se recomienda la combinación de los métodos de Moyers y Tanaka-Johnston en la población estudiada, para obtener mejor reproducibilidad, teniendo en cuenta que ambos sobrestiman el valor real. Tanaka-Johnston se sugiere para el arco superior y Moyers p75 para el inferior.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos a la Doctora Libbe Mariaca y colaboradores, quienes realizaron el estudio en la Universidad de Antioquia, y cuya muestra fue usada en el presente estudio.

CONFLICTOS DE INTERÉS

Los autores declaramos que el manuscrito es original, no ha sido publicado previamente y no se encuentra en proceso de evaluación en ninguna otra revista. El estudio tuvo financiación propia por parte del Comité para el Desarrollo de la Investigación (CONADI), de la Universidad Cooperativa de Colombia, y se cumplió con todos los requisitos para dicha financiación.

CORRESPONDENCIA

Paola María Botero
Calle 4 sur N.º 43AA-26. Oficina 206
Medellín, Colombia
Teléfono: 57 4 3210479
Fax: 57 4 3116939
Correo electrónico: pboterom@gmail.com

CONCLUSIONS

It can be concluded that using a single method during clinical practice may induce large variations in tooth size prediction; it is therefore recommended to combine Moyers and Tanaka-Johnston methods in the studied population in order to obtain better reproducibility, taking into account that both methods overestimate actual values. Tanaka-Johnston is suggested for the upper arch and Moyers p75 for the lower arch.

ACKNOWLEDGMENTS

We thank Dr. Libbe Mariaca and collaborators, who conducted the study at Universidad de Antioquia and whose sample was used in the present study.

CONFLICTS OF INTEREST

The authors declare that the manuscript is original, has not been previously published and is not under evaluation in any other journal. The study was funded by Comité para el Desarrollo de la Investigación (CONADI), of Universidad Cooperativa de Colombia, and met all the requirements for such funding.

CORRESPONDING AUTHOR

Paola María Botero
Calle 4 sur No. 43AA-26. Suite 206.
Medellin, Colombia
Phone: 57 4 3210479
Fax: 57 4 3116939
Email: pboterom@gmail.com

REFERENCIAS / REFERENCES

1. Van der Linden FP. Theoretical and practical aspects of crowding in the human dentition. *J Am Dent Assoc* 1974; 89(1): 139-153.
2. Nourallah AW, Gesch D, Khordaji MN, Splieth C. New regression equations for predicting the size of unerupted canines and premolars in a contemporary population. *Angle Orthod* 2002; 72(3): 216-221.
3. De Paula S, Almeida MA, Lee PC. Prediction of mesiodistal diameter of unerupted lower canines and premolars using 45 degrees cephalometric radiography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1995; 107 (3): 309-314.
4. Fisk RO, Markin S. Limitations of the mixed dentition analysis. *Ont Dent* 1979; 56(6): 16-20.
5. Hixon HE, Oldfather RE. Estimation of the sizes of unerupted cuspid and bicuspid teeth. *Angle Orthod* 1958; 28(4): 236-240.
6. Diagne F, Diop-Ba K, Ngom PI, Mbow K. Mixed dentition analysis in a Senegalese population: elaboration of prediction tables. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2003; 124(2): 178-183.
7. Tanaka MM, Johnston LE. The prediction of the size of unerupted canines and premolars in a contemporary orthodontic population. *J Am Dent Assoc* 1974; 88(4): 798-801.
8. Bernabé E, Flores-Mir C. Are the lower incisors the best predictors for the unerupted canine and premolars sums? an analysis of a Peruvian sample. *Angle Orthod* 2005; 75(2): 202-207.
9. Moyers RE. *Handbook of orthodontics*. 4.^a ed. Londres: Year Book Medical Pub; 1988.
10. Moyers RE, van der Linden FP, Riolo M, McNamara J. *Standards of human occlusal development*. Craniofacial Growth series. Ann Arbor: University of Michigan; 1976.
11. Nance HN. The limitations of orthodontic treatment; diagnosis and treatment in the permanent dentition. *Am J Orthod* 1947; 33(5): 253-301.
12. Schirmer UR, Wiltshire WA. Orthodontic probability tables for black patients of African descent: mixed dentition analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1997; 112(5): 545-551.
13. Sayin MO, Turkkahraman H. Factors contributing to mandibular anterior crowding in the early mixed dentition. *Angle Orthod* 2004; 74(6): 754-758.
14. Abu Alhaja ES, Qudeimat MA. Mixed dentition space analysis in a Jordanian population: comparison of two methods. *Int J Paediatr Dent* 2006; 16 (2): 104-110.
15. Altherr ER, Koroluk LD, Phillips C. Influence of sex and ethnic tooth-size differences on mixed-dentition space analysis. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2007; 132 (3): 332-339.
16. Endo T, Abe R, Kuroki H, Oka K, Shimooka S. Tooth size discrepancies among different malocclusions in a Japanese orthodontic population. *Angle Orthod* 2008; 78(6): 994-999.
17. Jaroontham J, Godfrey K. Mixed dentition space analysis in a Thai population. *Eur J Orthod* 2000; 22(2): 127-134.
18. Kaplan RG, Smith CC, Kanarek PH. An analysis of three mixed dentition analyses. *J Dent Res* 1977; 56(11): 1337-1343.
19. Legovic M, Novosel A, Legovic A. Regression equations for determining mesiodistal crown diameters of canines and premolars. *Angle Orthod* 2003; 73(3): 314-318.
20. Melgaco CA, Araujo MT, Ruellas AC. Applicability of three tooth size prediction methods for white Brazilians. *Angle Orthod* 2006; 76(4): 644-649.
21. Mariaca L, Téllez Y, Mejía J, Giraldo G. Cambios dimensionales de los arcos dentales en niños de 3 a 12 años de edad de la ciudad de Medellín (Estudio Longitudinal). *Rev Fac Odontol Univ Antioq* 1997; 8(2): 4-12.
22. Bishara SE, Fernandez Garcia A, Jakobsen JR, Fahl JA. Mesiodistal crown dimensions in Mexico and the United States. *Angle Orthod* 1986; 56(4): 315-323.
23. Ingervall B, Lennartsson B. Prediction of breath of permanent canines and premolars in the mixed dentition. *Angle Orthod* 1978; 48(1): 62-69.
24. Paredes V, Gandia JL, Cibrian R. A new, accurate and fast digital method to predict unerupted tooth size. *Angle Orthod* 2006; 76(1): 14-19.
25. Cattaneo C, Butti AC, Bernini S, Biagi R, Salvato A. Comparative evaluation of the group of teeth with the best

- prediction value in the mixed dentition analysis. *Eur J Paediatr Dent* 2010; 11(1): 23-26.
26. Bland JM, Altman DG. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *Lancet* 1986; 1(8476): 307-310.
27. Altman DG. *Practical statistics for medical research*. London: Chapman and Hall; 1991.
28. Al-Khadra BH. Prediction of the size of unerupted canines and premolars in a Saudi Arab population. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 1993; 104(4): 369-372.
29. Yuen KK, Tang EL, So LL. Mixed dentition analysis for Hong Kong Chinese. *Angle Orthod* 1998; 68(1): 21-28.
30. Boboc A, Dibbets J. Prediction of the mesiodistal width of unerupted permanent canines and premolars: a statistical approach. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 137(4): 503-507.
31. Pardo A, Parra M, Yezioro S. Aplicación de cinco análisis de dentición mixta en una muestra de niños Colombianos. Presentado en el 1er Encuentro Latino Americano de Investigación en Ortodoncia SCO; 1998; Bogotá, Colombia.
32. Legovic M, Novosel A, Skrinjaric T, Legovic A, Mady B, Ivancic N. A comparison of methods for predicting the size of unerupted permanent canines and premolars. *Eur J Orthod* 2006; 28(5): 485-490.
33. Buwembo W, Lubuga S. Moyers method of mixed dentition analysis: a meta-analysis. *Afri Health Sci* 2004; 4(1): 63-66.
34. Martinelli FL, Lima EM, Rocha R, Araujo MST. Prediction of lower permanent canine and premolars width by correlation methods. *Angle Orthod* 2005; 75(3): 236-240.
35. Philip NI, Prabhakar M, Arora D, Chopra S. Applicability of the Moyers mixed dentition probability tables and new prediction aids for a contemporary population in India. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2010; 138(3): 339-345.
36. Jaiswal AK, Paudel KR, Shrestha SL, Jaiswal S. Prediction of space available for unerupted permanent canine and premolars in a Nepalese population. *J Orthod* 2009; 36(4): 253-259.