

DETERMINACIÓN DE LA MEJOR UBICACIÓN PARA APARATOLOGÍA ORTODONTICA EN MOLARES A TRAVES DE ELEMENTOS FINITOS.

ACEVEDO D* MERLANO M* JARA L** RIOS R** REVELO I**

RESUMEN

Introducción. La calidad del desplazamiento del diente depende de la fuerza aplicada en el centro de resistencia de los dientes, cuya localización varía según la longitud radicular y la altura ósea; aspectos que pueden alterar la magnitud y dirección del movimiento. **Objetivo.** Determinar la mejor ubicación del bracket en un modelo simulado de molares teniendo en cuenta la corona anatómica y clínica según variaciones en tamaño radicular y altura ósea mediante análisis de elementos finitos sobre tomografía haz de cono computarizada. **Metodología.** Estudio experimental, con diseño in vitro, por simulación con modelo matemático mediante análisis de elementos finitos no lineal. La población de estudio estuvo conformada por 12 simulaciones de molares con relación 1:0.5; 1:1; y 1:1.5 con cementación de bracket en corona clínica y anatómica con periodonto normal y periodonto disminuido, a partir de una tomografía de paciente con dentición permanente sin tratamiento de ortodoncia previo y con apexificación completa. **Resultados.** En una relación corono-radicular 1:0.5 y 1:1 con periodonto normal los menores esfuerzos se dan en cementación de corona clínica y en una relación corono-radicular 1:1.5 el menor esfuerzo se da en cementación de corona anatómica. Para las distintas relaciones corono-radicales 1:0.5, 1:1 y 1:1.5 las mayores deformaciones se dan en cementación de corona clínica, lo cual se asocia a un movimiento mayor pero de inclinación. Con periodonto disminuido la relación corono-radicular 1:0.5, 1:1 y 1:1.5 presenta menor esfuerzo en cementación de corona anatómica. **Conclusiones.** En pacientes que presenten periodonto disminuido es recomendado la cementación en centro de corona anatómica para disminuir esfuerzos. El nivel más alto de estrés se encuentra a nivel cervical en las diferentes relaciones corono raíz y las distintas cementaciones. Para una relación corono radicular aumentada la cementación en corona anatómica nos arrojará menores esfuerzos y un movimiento de traslación mayor. En pacientes con periodonto normal la mejor cementación depende del tamaño y forma de las raíces que cambiarán la posición del centro de resistencia lo que a su vez determinará la posición ideal del tubo

Palabras Clave. *Desplazamiento Dental, movimiento de los dientes, diente molar, corona dental.*

+Odontólogas residentes de V semestre postgrado Ortodoncia y Ortopedia Maxilar. Institución Universitaria Colegios de Colombia. UNICOC, Sede Bogotá

** Ortodoncista, Docente Institución Universitaria Colegios de Colombia. UNICOC, Sede Bogotá. ** Ingeniero mecánico, Docente Universidad Libre y San Buenaventura. Sede Bogotá ** Asesora metodológica Institución Universitaria Colegios de Colombia. UNICOC. Sede Bogotá

INTRODUCCIÓN

Durante el tratamiento de ortodoncia se realizan diversos movimientos que permiten alinear los dientes y nivelarlos, pero también en ocasiones se requiere realizar movimientos en cuerpo con el fin de cerrar espacios tras extracciones realizadas, agenesias o por pérdidas dentales tempranas. Este tipo de movimiento dental se genera gracias a la aplicación de fuerzas que idealmente deben acercarse al centro de resistencia (CR) del diente con el fin de conseguir un movimiento de traslación más “puro”. Pero se debe tener en cuenta que una cosa es realizar un movimiento sobre un cuerpo libre y otra realizar movimientos sobre dientes que están restringidos por sus tejidos periodontales, los cuales van a limitar su capacidad de movimiento. Es por esto que dicho centro de resistencia estará condicionado y variará según modificaciones en altura ósea y longitud radicular que presenten los dientes que se desean trasladar. ⁽¹⁾

Al momento de iniciar los tratamientos de ortodoncia resulta clave la correcta cementación de los brackets ya que esto influye directamente en el movimiento dental que se desea, entre las posibles ubicaciones para la cementación se tiene: el realizarla en centro de corona anatómica o en centro de corona clínica; dicha cementación en la actualidad se realiza por la predilección de autores de las distintas técnicas ortodónticas o según la preferencia del clínico y no por las características específicas del paciente como raíces con longitud disminuida o altura de hueso alveolar disminuido. ⁽²⁾

Teniendo en cuenta que la cavidad oral es un complejo sistema con

acceso limitado, la mayoría de las investigaciones biomecánicas del entorno oral se han realizado in vitro, en las áreas de rehabilitación, implantología, endodoncia, entre otras. ^(3,4)

En la consulta de ortodoncia se observa pacientes con longitudes radiculares disminuidas debido entre otras a hábitos como bruxismo, succión digital, empuje lingual, o condiciones genéticas específicas, y sumado a variaciones en altura ósea alveolar, actualmente existe la necesidad de conocer la acción de los sistemas, entre esto la distribución de esfuerzos y deformaciones a nivel dental al realizar variación en la cementación de la aparatología ortodóntica para realizar la planificación de los movimientos dentarios entendiendo la fuerza que se debe emplear, y el mejor punto para la aplicación de la misma. ^(5,6)

En el área de ortodoncia se ha incrementado el uso del método de elementos finitos porque es útil para analizar áreas de distribución de estrés en el ligamento periodontal y el hueso alveolar durante los movimientos dentales, dirección del desplazamiento del diente, posición ideal de los aparatos ortodónticos durante una mecánica específica con la ventaja de ser preciso, no invasivo, controlar las variables del estudio y proporcionar datos cuantitativos sobre las estructuras internas del complejo naso maxilar, como el ligamento periodontal. ^(7,8)

Además de realizar el análisis del comportamiento y las propiedades de cada estructura biológica como hueso cortical, trabecular, molares y ligamento periodontal importante para determinar los esfuerzos y deformaciones en conjunto de un tubo o bracket cementado en corona clínica y anatómica con las diferencias de altura ósea y longitud radicular y definir cuál sería la correcta posición de un tubo según las diferentes características biológicas de un paciente.

Es por estas razones que el objetivo de este estudio es comparar dos alturas de cementación de un bracket (tubo) en un primer molar superior derecho, teniendo en cuenta variaciones en tamaño radicular y

altura ósea mediante análisis de elementos finitos. Se realizaron 12 simulaciones a partir de una tomografía de un paciente adulto sin tratamiento de ortodoncia previo, y con su proceso de apexificación completo y se simularon de la siguiente forma: 3 simulaciones de este molar con relaciones corono-radiculares (1:0.5; 1:1; 1:1.5) con altura ósea normal con un tubo cementado en corona clínica y 3 simulaciones del molar con las tres relaciones corono-radiculares con altura ósea normal cementado con un tubo cementado en corona anatómica. De igual forma se realizó con altura ósea disminuida con la cementación en corona clínica y anatómica.

MATERIALES Y METODO

El estudio es experimental, con diseño in vitro por simulación con modelo matemático mediante análisis de elementos finitos no lineal; donde se analizó lo referente a esfuerzos y deformaciones con variaciones en altura ósea y longitud radicular en un molar con cementación de un tubo (bracket) en molares.

La población de estudio se conformó por 12 simulaciones de molares con relación

1:1; 1:1,5; y 1:0.5 con cementación de un tubo en corona clínica y en corona anatómica con periodonto normal y periodonto disminuido, tomadas a partir de una tomografía de paciente con dentición permanente sin tratamiento de ortodoncia previo y con proceso de apexificación completa.

Para el análisis se utilizó el modelo matemático de elementos finitos que consta de tres pasos principales: En la primera etapa de preprocesamiento esta etapa se creó las geometrías de los conjuntos que se analizaron, de la siguiente manera: Se dibuja el bracket en el software Solid Works 2018 versión académica, a partir de fotografías tomadas del mismo. Esto con el fin de recrear fielmente las dimensiones y formas del mismo. **(Imagen 1)**

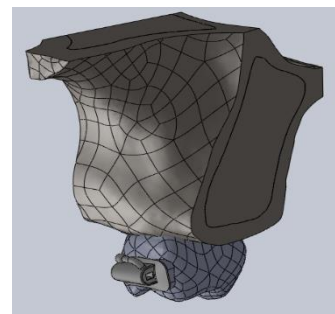
Luego se procede a reconstruir las estructuras anatómicas, partir de la tomografía con un espesor de 0.2 mm del paciente seleccionado, con el software 3D Doctor

4.0, se generó un archivo STL correspondiente a la superficie exterior del maxilar y del molar. Posteriormente se importa en Solid Works para convertirlo en sólido y seccionar la zona específica para el análisis. **(Imagen 2)**

Inmediatamente se realiza el montaje de los conjuntos en donde se construyeron

12 modelos simulados con una relación corono radicular 1:1,5; 1:1 y 1:0,5. A partir de esas relaciones se construyen con periodonto reducido (altura de hueso a la mitad de la raíz) y periodonto normal (altura de hueso a la línea amelo cementaría), para un total de 6 modelos. Por último, se modelan ya estas estructuras creadas con cementación del tubo en corona clínica y en corona anatómica **(Imagen 3)**

Imagen 3: Ensamblado del conjunto (hueso cortical y trabecular, ligamento periodontal, molar y tubo de molar)



Terminados los ensamblajes, se importaron al software ANSYS WORKBENCH R.

19.2 versión académica en donde se aplicaron las propiedades de los materiales a cada elemento, se realizó el enmallado, se aplicó la carga de 1 N en el slot del bracket, y se definieron los apoyos para dejar el conjunto completamente definido.

En la segunda etapa se realiza la solución por medio del programa ANSYS el cual resolvió cada simulación y creó el archivo de resultados.

En la tercer y último paso se ejecuta el post procesamiento donde se visualizaron los resultados obtenidos para cada conjunto simulado y se procedió a capturar las imágenes con la herramienta recortes de Windows. **(Imagen 4)**

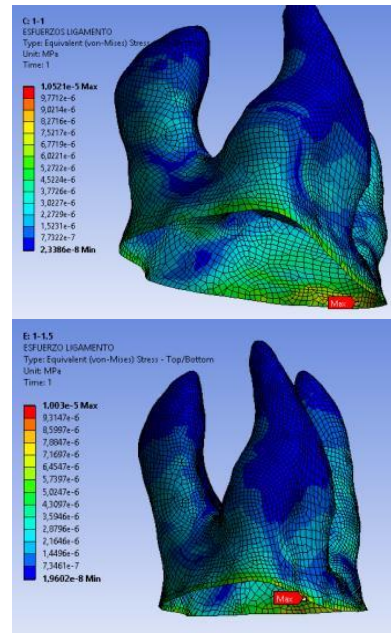
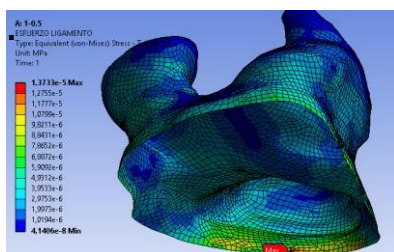
RESULTADOS

En una relación corono-radicular 1:0.5 con periodonto normal los menores esfuerzos se dan en cementación de corona clínica. Al analizar cada estructura por separado se encontró que en el hueso cortical, el LP y el molar registran menor esfuerzo en la cementación de corona anatómica y en el hueso esponjoso el menor esfuerzo se da en cementación de corona clínica. (Tabla 1y 2)

Los resultados del conjunto en una relación corono-radicular 1:1 el menor esfuerzo se da en cementación de corona clínica. Al analizar cada estructura por separado se encontró que en el hueso cortical y trabecular, el LP y el molar registran menor esfuerzo en la cementación de corona anatómica.

En una relación corono-radicular 1:1.5 el menor esfuerzo se da en cementación de corona anatómica, al igual que en el análisis de cada estructura por separado. Los mayores esfuerzos se localizan anatómicamente en la región cervical de los molares en las diferentes relaciones corono radicales ya sea con periodonto normal o disminuido. (Gráfica 1)

Gráfica 1: Esfuerzos en el ligamento periodontal para relación corono radicular 1:0,5, 1:1 y 1:0.5



Los resultados del conjunto para las deformaciones en donde se tiene en cuenta la estructura conformada por el hueso cortical y trabecular normal, ligamento periodontal, el molar y el tubo (bracket) se muestran en la **Tabla 3 y 4**; arrojaron que en una relación corono-radicular 1:0.5 las mayores deformaciones se dan en cementación de corona clínica, lo cual se asocia a un movimiento mayor, pero de inclinación. En relación 1:1 el mayor desplazamiento se observa en cementación clínica. Y en 1:1.5 revela mayor deformación en corona clínica tanto el conjunto dentoalveolar como por estructuras.

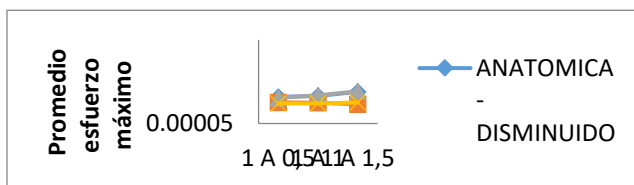
Tabla 3. Deformaciones/relación corono-radicular 1:0.5; 1:1 y 1:1.5, con cementación del tubo en corona anatómica y periodonto normal

Los resultados en conjunto en una relación corono-radicular 1:0.5, 1:1 y 1:1.5 donde se tiene en cuenta hueso cortical y trabecular disminuido, ligamento periodontal y molar

registraron que los esfuerzos son menores cuando se hace una cementación del tubo (bracket) en la corona clínica del molar. (**Tablas 5 y 6**)

Al momento de analizar cada estructura de manera individual en las diferentes relaciones corono-radicular antes mencionadas, encontramos tanto para el hueso trabecular y cortical, el ligamento periodontal y el molar un menor esfuerzo en corona anatómica. (Gráfica 2) Se contrasta la hipótesis de diferencias de la distribución de las medianas entre las medidas con el test de Kruskal Wallis /u Mann Whitney, para periodonto normal y disminuida en corona clínica y anatómica. El test estadístico muestra un p valor inferior al alfa de 0,05 ($p < 0.05$) existiendo diferencias significativas entre disminuido y normal.

Gráfica 2. Promedio de Esfuerzos/estructura en cementación de corona anatómica y clínica con periodonto disminuido y normal.

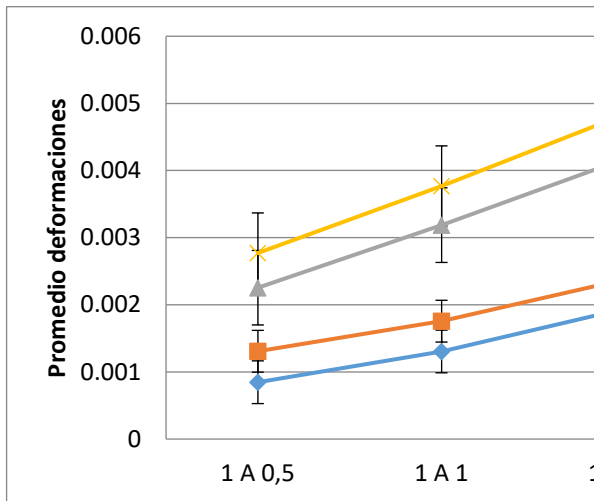


En cuanto a las deformaciones que experimenta el modelo de simulación con una relación corono-radicular 1:0.5 donde se tiene en cuenta hueso cortical y trabecular disminuido los mayores valores en cuanto a

deformación se presentan cuando se hace una cementación del tubo (bracket) en la corona clínica del molar. Al momento de analizar cada estructura de manera individual se encontró que, en el hueso trabecular y cortical, el ligamento periodontal y en el mismo molar se experimenta una menor deformación en corona anatómica. (**Gráfica 3**)

En una relación corono-radicular 1:1 se registra que la deformación es menor cuando se hace una cementación del tubo (bracket) en la corona anatómica del molar, y al momento de analizar cada estructura de manera individual se experimenta una menor deformación al realizar cementación en corona anatómica. Por último, se observa que en una relación corono-radicular 1:1.5 donde se tiene en cuenta hueso cortical y trabecular disminuido, la deformación es menor cuando se hace una cementación del tubo (bracket) en la corona anatómica del molar. Al momento de analizar cada estructura de manera individual encontramos que, en el hueso trabecular y cortical, el ligamento periodontal y en el mismo molar experimenta una menor deformación en corona anatómica. (**Tablas 7 y 8**)

Gráfica 3: Deformación en cada estructura en cementación de corona anatómica con periodonto disminuido.



Geramy 2002 y Bica 2014 refieren que la pérdida de hueso alveolar reduce el centro de resistencia y modifica la distribución del estrés en el ápice, al analizar los resultados con el presente estudio respecto a los esfuerzos y deformaciones a medida que se pierde hueso alveolar los valores de esfuerzo van en aumento, encontrando también que los datos más significativos son aquellos que corresponden a la dirección de la fuerza de acción. ^(15,9)

DISCUSIÓN

Bica en el 2014 para los resultados obtenidos luego de la simulación por computador a través del método de elementos finitos tuvo en cuenta la estructura conformada por el hueso cortical y trabecular normal, ligamento periodontal, diente multirradicular y el tubo (bracket) lo cual denominaron conjunto; a diferencia de este estudio se decidió analizar cada estructura anatómica por separado y en conjunto con diferentes variables en altura ósea y longitud radicular. ⁽⁹⁾

Según Bourauel y Vollmer en 1999; van Driel y Provaditis en el 2000, Qian en el 2001 y Poppe en el 2002 el ligamento periodontal se debe simular como una fibra no lineal o con propiedades visco elásticas, así mismo también incluyen la geometría y la morfología interna del hueso alveolar basándose en tomografías computarizadas, en el presente estudio aunque también se modeló el ligamento como no lineal se realizó modificaciones de tamaño al cambiar la relaciones radicales debido a que el cambio de forma establece también los límites para la transferencia de carga tridimensional lo que resulta en distribuciones de estrés que pueden ser diferentes. ^(10,3,11, 12,13, 14)

Según Geramy en el 2002 cuando se aplica una fuerza determinada en un modelo de simulación matemática el nivel más alto de estrés se encuentra a nivel cervical, se puede relacionar con los resultados del estudio donde los mayores esfuerzos en el ligamento periodontal normal se vieron reflejados a nivel cervical y palatino para las relaciones establecidas en el estudio. ⁽¹⁵⁾

Según Jara en el 2017 refiere que en un paciente con relación corono raíz disminuida existe mayor inclinación al aplicar una fuerza de traslación; la cual estará disminuida al cementar el bracket de un incisivo superior más gingival acercándose aproximadamente 0.5 mm más al centro de resistencia (corona anatómica), ese estudio fue realizado en dientes unirradiculares superiores. Los resultados obtenidos difieren del estudio de Jara en 2017 porque es un diente multirradicular el cual varía en forma y tamaño radicular entre individuos y configuración anatómica del mismo diente que cambiará la distribución de esfuerzos y deformaciones; lo que daría a entender que no es tan importante la cantidad de fuerza que se aplica sino la fuerza por unidad de superficie que se distribuirá de forma diferente cuando la superficie radicular

aumenta. En un diente multirradicular al disminuirse el periodonto los esfuerzos disminuyen al realizar la cementación en corona anatómica y lo podemos correlacionar con los estudios anteriores que nos hablan acerca del desplazamiento del centro de resistencia.⁽¹⁶⁾ A medida que el periodonto disminuye el centro de resistencia cambia a una posición más apical por lo que la cementación más gingival reduciría la distancia del punto de aplicación de la fuerza al centro de resistencia lo que causaría menor movimiento de inclinación que conllevaría a un movimiento predecible

CONCLUSIONES

En pacientes que presenten periodonto disminuido es recomendado la cementación en centro de corona anatómica para disminuir esfuerzos.

Cuando se aplica una fuerza determinada en un modelo de simulación matemática el nivel más alto de estrés se encuentra a nivel cervical en las diferentes relaciones corono raíz y las distintas cementaciones. En pacientes que presenten una relación corono radicular aumentada la cementación en corona anatómica nos arrojará menores esfuerzos y un movimiento de traslación mayor.

En movimientos ortodónticos realizados con relación corono raíz 1:0,5 se produce un movimiento de inclinación por lo que es recomendable disminuir las fuerzas o realizar biomecánicas que nos ayuden a acercarnos al centro de resistencia.

Para pacientes con periodonto normal la mejor cementación depende del tamaño y forma de las raíces que cambiaran la posición del centro de

resistencia lo que a su vez nos determinará la posición ideal del tubo

La altura de la cementación dependerá del periodonto y anatomía radicular; si la altura ósea se encuentra disminuida será mejor en corona anatómica para acercarse al centro de resistencia que se encontrará más apical, si el periodonto se encuentra normal en una relación corono radicular ideal el centro de resistencia se encontrará más cerca de la corona por lo que se impactara de mejor manera al realizar la cementación en corona clínica.

Un método diagnóstico que nos puede ayudar en la predictibilidad del movimiento ortodóntico es la tomografía de haz de cono que nos ayudará a visualizar y analizar la morfología dental y anatomía de los maxilares.

Es importante apreciar las condiciones anatómicas de cada paciente y de cada estructura dental (periodonto, altura radicular y morfología de un molar) para establecer el sitio ideal de cementación del tubo.

BIBLIOGRAFÍA

1. Lindauer S, Britto A. Biological response to biomechanical signals: Orthodontic Mechanics to control tooth movement. *Seminars in Orthodontics*, 2000; 6: 145-154
2. Ping L, et al. Three- dimensional finite element analysis of the mechanical

- Stress on root from orthodontic tooth movement by sliding mechanics. *Journal of Huazhong University of science and Technology. Med sci* 27(6): 2007
3. Vollmer D. Determination of centre of resistance in an upper human canine and idealized tooth model. *European journal of orthodontics* 21(1999) 633-648
 4. Singh, et al. Revolution in Orthodontics: Finite element analysis. *Journal of international Society of preventive and community dentistry*. 2006, Vol, 6 No.25. Chakravarthi S, et al. Evaluation of centre of resistance in tooth with different levels of bone: A Finite Element Method Study. *Journal of international oral health* 2006; 8: 232-237
 6. Moore J. Factors affecting tooth movement in sliding mechanics. *European Journal of Orthodontics* 15 (1993) 225-241
 7. Jones M, Hickman J, Middleton J. A Validated Finite Element Method Study of Orthodontics vol.28 (2001) 28-29
 8. Cattaneo M, Dalstra M, and Melsen B. The Finite element Method: A Tool to study Orthodontic Tooth Movement: *Journal dentistry research*. 2005. 428-433.
 9. Bica, C., Brezeanu, L., Bica, D., & Suciu, M. Biomechanical reactions due to orthodontic forces. A finite element study. *Procedia Technology* (2015), 19, 895-900.
 10. Bourauel C, Freudenreich D, Vollmer D, Kobe D, Drescher D, Jager A. Simulation of orthodontic tooth movements. A comparison of numerical models. *Journal of Orofacial Orthopedic* (1999) 60:136-151
 11. Van Driel W.D, van Leeuwen EJ, Von den Hoff JW, Maltha JC, Kuijpers-Jagtman AM. Time- dependent mechanical behaviour of the periodontal ligament. *Proc Inst Mech Eng [H]* (2000) 214:497-504.
 12. Provatidis C. G. A comparative FEM-study of tooth mobility using isotropic and anisotropic models of the periodontal ligament. *Med Eng Phys* (2000). 22:359-370.
 13. Qian H, Chen J, Katona TR. The influence of PDL principal fibers in a 3-dimensional analysis of orthodontic tooth movement. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* (2001) 120:272-279
 14. Poppe, M., Bourauel, C., & Jäger, A. Determination of the elasticity parameters of the human periodontal ligament and the location of the center of resistance of single-rooted teeth. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, (2002) 63(5), 358-370
 15. Geramy, A. Initial stress produced in the periodontal membrane by orthodontic loads in the presence of varying loss of alveolar bone: a three-dimensional finite element analysis. *The European Journal of Orthodontics*, (2002) 24(1), 21-33.
 16. Jara L, Espinosa A, Ramírez M, Zamora S. Comparación de cementación de un bracket mediante análisis de elementos finitos según variaciones de tamaño radicular y altura ósea. 2017; 1-13.
 17. Ammar Hussein H. et al Three-dimensional modeling and finite element analysis in treatment planning for orthodontic tooth movement. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, Volume 139, Issue 1, e59 - e71
 18. Burstone CJ, Pryputniewicz RJ, Weeks R: Centers of resistance of the human mandibular molars (abstract). *J Dent Res* 1981;60: 515,
 19. Burstone CJ, Pryputniewicz RJ: Holographic determination of centers of rotation produced by orthodontic forces. *AM J ORTHOD* 1980, 77: 396-409.
 20. Chakravarthi S, et al. Evaluation of centre of resistance in tooth with different levels of bone: A Finite Element Method Study. *Journal of international oral health* 2006; 8: 232-237
 21. Cobo J, Sicilia A, Arguelles J, Suarez D, Vijande M. Initial stress induced in periodontal tissue with diverse degrees of bone loss by an orthodontic force: tridimensional analysis by means of the finite element method. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* (1993) 104:448-454.
 22. Dermaut L R, Kleutghen J P J, De Clerck H J. Experimental determination of the center of resistance of the upper first molar in a macerated, dry human skull submitted to horizontal headgear traction. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics* 1986, 90: 29 – 36
 23. Jo, A.-R., Mo, S.-S., Lee, K.-J., Sung, S.-J., & Chun, Y.-S. Finite-element analysis of the center of resistance of the mandibular dentition. *Korean Journal of Orthodontics*, (2017) 47(1), 21–30. <http://doi.org/10.4041/kjod.2017.47.1.21>

24. Jones M, Hickman J, Middleton J. A Validated Finite Element Method Study of Orthodontics vol.28 (2001) 28-29
25. Konda, P., & Tarannum, S. A. Basic principles of finite element method and its applications in orthodontics. Journal of Pharmaceutical and Biomedical Sciences (JPBMS) (2012), 16(16)

