مجله دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی شیراز
سال سوم- شماره اول و دوم- بهار و تابستان ۱۳۸۱
صفحه های ۵۹ تا ۶۵

جابه‌جایی یکسان مرکز مقاومت در حرکات گوناگون دندانی به شرط ثبات نیرو: پژوهشی سه بعدی به کمک روش المان محدود

دکتر اللهیار گرامی *

چکیده

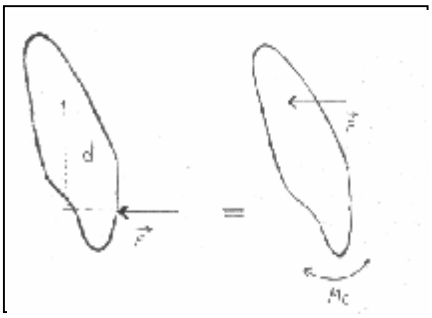
حرکت دندان یکی از مباحث پایه‌ای در دانش ارتودنسی به شمار می‌آید، که حجمی از پژوهش‌ها را به خود اختصاص داده و می‌دهد. گوناگونی موجود در سیستم‌های نیرو و حرکات دندانی بسیار هستند. در این پژوهش، یکی از پرسش‌های ممکن مطرح بوده است. پرسش این است که، آیا جابه‌جایی مرکز مقاومت در حرکات گوناگون دندانی، به شرط ثبات نیرو یکسان است؟ برای آشکار ساختن این مسئله، روش المان محدود به کارگرفته شده. جابجایی یکسان مرکز مقاومت در مسیر اعمال نیرو، بدون در نظر گرفتن نسبت‌های گوناگون گشتاور به نیرو اعما شده و با توجه به ثابت بودن میزان نیرو به کمک نمودار نمایشی ساده از یک اصل مکانیک است.

واژگان کلیدی: مرکز مقاومت، نسبت گشتاور به نیرو، روش المان محدود (FEM)

* استادیار گروه ارتودنسی، دانشکده‌ی دندانپزشکی دانشگاه علوم پزشکی شیراز

مقدمه

در پایان یک جلسه درس بیومکانیک، از سوی یکی از دانشجویان مورد پرسش قرار گرفتم، که "آیا میزان جابه‌جایی مرکز مقاومت در حرکت Tipping و Bodily به دست آمده از یک نیروی ثابت، یکسان هستند؟" شیوه‌ی طرح پرسش به گونه‌ای بود که تمایل پرسش کننده را به دلیل زیادتر بودن جابه‌جایی یاد شده در حرکت Tipping می‌رساند. با به کارگیری اصل سیستم نیروهای هم ارز (Equivalent force system) [۱ تا ۳] و در پاسخ به پرسش او بر پایه‌ی شکل ۱ وارد بحث شدیم. بر پایه‌ی شکل ۱ هر نیرویی که در تاج وارد شود، را با رعایت موازین انتقال نیروها، می‌توانیم به مرکز مقاومت منتقل کنیم. جزو جدیدی، که هم ارزی دو نیرو را تضمین می‌نماید، گشتاوری است که مثبت یا منفی بودن آن به شرایط نخست موقعیت تازه‌ی انتقال نسبت به CRes وابسته است. پس نیروی F در وضعیت الف، که حرکت Tipping را ایجاد می‌کند، می‌تواند در وضعیت ب ایجاد حرکت Bodily را ایجاد نماید. میزان M، نیز به این شکل تعریف می‌گردد (شکل شماره‌ی ۱).



شکل شماره‌ی ۱: توضیح در متن

M= Mc-Fd

d مسافتی که بردار نیرو منتقل گردیده است.

Mc گشتاور اعمال شده

در پایان بحث، اگر چه بر پایه‌ی اصول نخستین مکانیک این مطلب توضیح داده شده بود و بر پایه‌ی روابط ساده‌ی نیروها، شنونده قانع گردید، اما به فکر انجام پژوهشی افتادم، تا این مطلب را به کمک تصویر و نه به کمک روابط بالا، نمایش دهم. همان‌گونه که می‌دانیم، انجام درمان‌های ارتودنسی، برای حرکات دندانی، به اعمال نیوریی وابسته است و این سیستم‌ها، می‌توانند دارای دو جزو باشند، که عبارت هستند از: نیرو (F) و گشتاور (M). مارکوت (Marcotte) [۴]، بر این باور است دو دارو برای درمان‌های ارتودنسی موجود است. که عبارت هستند از: نیرو و گشتاور و به تعبیری می‌توان گفت، تنها یک دارو برای حرکات دندانی داریم، که عبارت است از "ایجاد تنش انتخابی در موضعی خاص از PDM " . درباره‌ی حرکات دندانی پژوهش‌های زیادی انجام شده است. کیوزی (Kusy) و تولوچ (Tulloch) [۵]، در سال ۱۹۸۶ از رابطه‌ی نیرو و گشتاور را در ایجاد حرکت گوناگون دندانی مورد بحث قرار دادند. فووتن(Fortin) [۶]، در سال ۱۹۷۱ به ایجاد حرکت‌های دندانی در سگ اقدام کرد و در این راه، از نیرو و گشتاورهای گوناگون بهره جست.

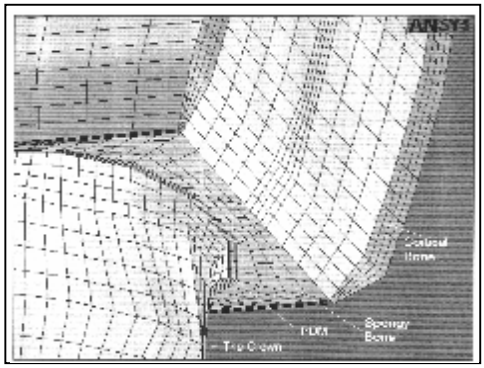
گرامی، نیز در پژوهشی به کمک روش المان محدود، حرکات گوناگون را در مدل سه بعدی خود، به کمک اعمال نیرو و گشتاورهای گوناگون ایجاد کردومنحنی حرکتی را برای این الگو ترسیم کرد [۷].

همان‌گونه که می‌دانیم، حرکات گوناگون دندانی، با جابه‌جایی‌های گوناگون در تاج و ریشه همراه هستند که میزان جابه‌جایی مرکز مقاومت در انواع حرکات دندانی، موضوع اصلی این پژوهش است. به عبارت دیگر، تصمیم بر این است که این موضوع روشن شود، که میزان حرکت بخشی از ریشه، که مرکز مقاومت را دربردارد، در مسیر اعمال نیرو، تنها به میزان نیرو در آن راستا بستگی داشته و گشتاور موجود در دستگاه، که در ایجاد حرکات گوناگون دنانی و نیز میزان جابه‌جایی تاج و ریشه اثری شدید دارد، در جابه‌جایی این بخش از ریشه، بدون هر گونه اثر است. امروزه روش المان محدود

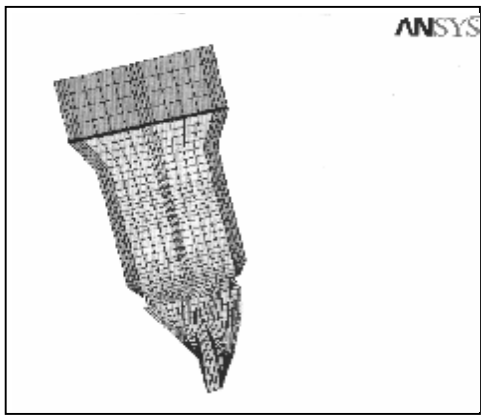
به عنوان یک شیوه‌ی حل عددی پذیرفته شده است. این روش با تقسیم یک ساختمان پیچیده به اجزای کوچکتر (المان) و حل مسئله‌ی موجود در هر یک از اجزا و سرانجام هماهنگ ساختن یافته‌ها، پاسخی یکنواخت برای مسئله ارایه می‌دهد، این روش به عنوان شیوه‌ای که کارایی خود را در مسایل گوناگون از حرکات دندانی [۷] تا حالات خاص چون اعمال نیرو در دندان‌های Dilacerated [۸]، تحلیل استخوان [۸ و ۹] تا مکانیک‌های خارج دهانی [۱۱] به اثبات رسانده است، برای انجام این پژوهش برگزیده شده است. هدف اصلی این بررسی ارایه تصویری روشن از یکسانی جابه‌جایی مرکز مقاومت تحت اثر نیروی ثابت در انواع حرکات دندانی است. به عبارت دیگر آنچه جابه‌جایی مرکز مقاومت را تعیین می‌کند، میزان نیروی موجود در سیستم نیرو است و تا زمانی که نیروی اعمال شده ثابت نگه داشته شود، جابه‌جایی مرکز مقاومت نیز ثابت خواهد بود.

مواد و روش‌ها

یک مدل سه بعدی از یک ثنایای میانی فک بالا در محیط نرم افزاری ANSYS Ver.5.40(Ansys Inc.Southpointe, 275 TechnologyDrive,Cononsburg PA15317, USA) در یک رایانه پنتیوم سه، ۸۰۰ طراحی گردید. شکل ۲، وضعیت کلی مدل را نشان می‌دهد. اطلاعات لازم از آناتومی اش (Ash) [۱۲]، با اندکی تعدیل به‌دست آمد. PDM بنا به نظر کولیج (Coolidge) [۱۳] با ضخامت‌های گوناگون‌طراحی گردید (جدول شماره‌ی ۲).



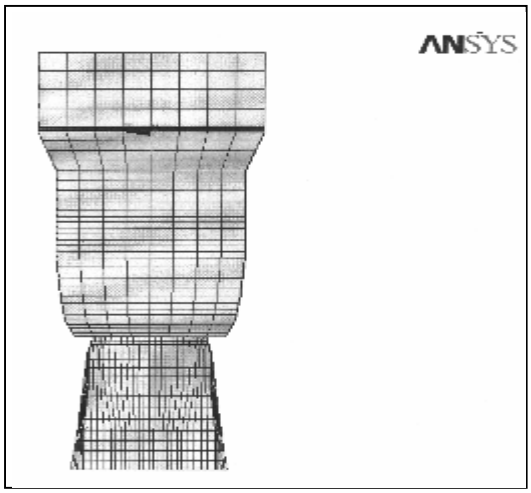
شکل شماره‌ی ۲) *الف: نمای لبیال*



شکل شماره‌ی ۲) *ب: نمای جانبی*

مدل یاد شده شامل ۲۲ لایه‌ی عمود بر محور طولی و چهار گونه‌ی ماده است. دندان، PDM، استخوان اسفنجی و استخوان کورتیکال.

همانندی مدل یاد شده با دندان واقعی، ایجاب می‌کند که هیچ تقارنی در طراحی مدل به کار نرود (شکل شماره‌ی ۳).



شکل شماره‌ی ۳: *موادگوناگون موجود در مدل ۳ بعدی*

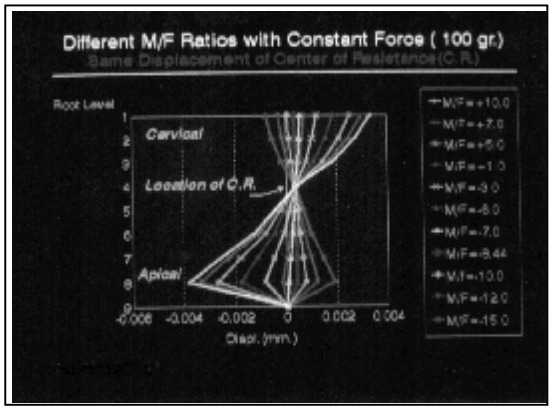
شمار Node ۳۷۸۸۴ در محیط ANSYS تعریف گردید، که به کمک این Nodeها، ۳۲۷۶۸ المان، 8-Node و Octahedral معرفی گردید. جدول شماره‌ی ۲ ضرایب فیزیک لازم برای طراحی

مدل آورده شده است. این پژوهش به فاز الاستیک مواد، که ایزوتروپ در نظر گرفته شده‌اند، محدود می‌گردد. یک نیروی یک نیوتنی در نقطه‌ای به فاصله‌ی ۵/۵ میلی‌متر از لبه‌ی انسیزال، که معرف محل تقریب براکت است و در میانه‌ی مسیر مزیودیستال تاج در این سطح قرار گرفته است، اعمال شد. نسبت‌های گوناگون گشتاور به نیرو به کمک اعمال Couple ایجاد و هر یک به شکل یک مسئله‌ی جدید، تعریف گردید. با توجه به این که مرکز (CRot) در مسیر اعمال نیرو، هیچ جابه‌جایی از خود نشان نمی‌دهد، در هر مرحله از اعمال گشتاور به نیرو گوناگون، موقعیت Crot، محاسبه گردید. این کار به کمک جابه‌جایی Node ۲ بالایی و پایینی جای تقاطع منحنی با خط عمود و با استفاده از اصول ساده‌ی هندسی انجام گردیده است. منحنی مربوط به گشتاور به نیرو گوناگون در یک شکل و بر روی هم تصویر شدند.

یافته‌ها

نسبت‌های گوناگون گشتاور به نیرو، حرکاتی متفاوت را ایجاد کرده و تقارن جاهای اعمال نیرو نسبت به محور مرکزی، از ایجاد چرخش جلوگیری کرد. در هر یک از حالات اعمال گشتاور به نیرو، جابه‌جایی تمام نقاط در سطح برجسته‌ترین بخش تاج و ریشه‌ی دندان ارزیابی شد.

سیستم نیروی M/F=۰ ایجاد حرکت Tipping با مرکز چرخش ۶/۳۹ میلی‌متری از آپکس کرد. نزدیک‌ترین حالت، به حرکت Bodily در مدل موجود با سیستم نیروی M/F = ۸/۲۱ ایجاد گردید. برای درک حرکت دندان، معمولاً رابطه‌ی مرکز چرخش و میزان جابه‌جایی‌ها ترسیم می‌گردید. تغییر گشتاور به نیرو از ۱۰+ به صفر، باعث ایجاد تغییر در موقعیت CRot از ۷/۱۵ به ۶/۳۹ گردید. تمام تصویرها مربوط به حرکت دندان در پی اعمال گشتاور به نیروهای گوناگون روز هم ترسیم شدند (شکل شماره‌ی ۴).



شکل شماره‌ی ۴) *: توضیح در متن*

منحنی‌های حرکت دندان بر پایه‌ی نسبت گشتاور به نیرو معمولاً دارای ۲ حالت کلی است. در گروهی منحنی با محور اصلی برخوردی ندارند که به معنای وجود مرکز چرخش در خارج از طول ریشه است و در گروه دوم این برخورد وجود دارد که به معنای وجود مرکز چرخش در طول ریشه است [۷]. شکل ۳ دارای هر دو گونه منحنی بالا است.

بحث

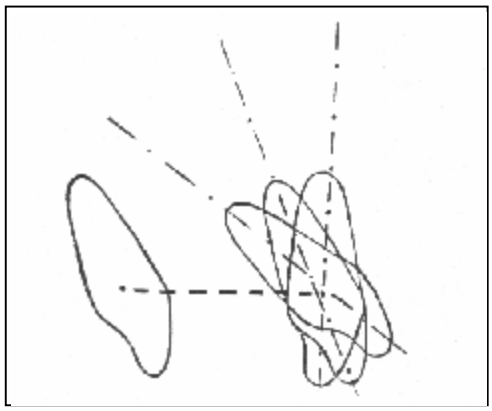
ایجاد حرکات گوناگون در دندان‌ها نیاز به اعمال سیستم‌های نیروی متفاوتی نیازمند است و آنچه در این میان دارای اهمیت است رابطه‌ی گشتاور موجود در سیستم و نیروی به‌دست آمده می‌باشد.

یافته‌های این بررسی درباره‌ی حرکت Bodily در تایید پژوهش پیشین نگارنده [۷] است که البته بررسی یاد شده از لحاظ زمان آنالیز و نرم‌افزار به کار رفته کوتاه‌تر و ساده‌تر بوده است. این بررسی همچنین در تایید تانه و دیگران (Tanne et al) [۱۴] است. تانه و همکاران در مدل خود به عدد M/F = -۸/۳۹ برای حرکت Bodily رسیده بودند. این بخش از بحث برای بیان قابل اعتماد بودن مدل جدید می‌باشد. هنگامی که تمام منحنی‌های حرکت سطح لبیال دندان در یک شکل

بر روی هم تصویر می‌شوند، از یک نقطه‌ی مشترک عبور می‌کنند. این نقطه‌ی مشترک دارای فاصله‌ی افقی از مبدأ و یک فاصله عمودی از آپکس است. فاصله عمودی موجود با در نظر گرفتن گشتاور به نیرو لازم جهت حرکت Bodily با موقعیت مرکز مقاومت (CRes) هم‌خوانی دارد. با توجه به این مطلب تنها تفسیر ممکن برای این نقطه‌ی مشترک در تمام منحنی‌ها وجود حرکت یکسان مرکز مقاومت در تمام انواع حرکات دندانی به شرط ثبات نیرو می‌باشد (فاصله افقی این نقطه از محور عمود). همان‌گونه که در شکل ۴ دیده می‌شود اعمال تمام نسبت‌های گشتاور به نیرو ایجاد جابه‌جایی یکسان در مرکز مقاومت می‌کند.

نتیجه

در سیستم‌های نیروهای ارتودنسی که برای ایجاد انواع حرکات دندانی اعمال می‌گردند تا زمانی میزان نیرو ثابت باشد، مرکز مقاومت دندان نیز به یک میزان جابه‌جا می‌گردد (که این مطابق با اصول اولیه‌ی مکانیک می‌باشد) و تفاوت نتیجه‌ی حرکات تنها در تغییر زاویه‌ی قرارگیری دندان در آغاز و پایان حرکت خواهد بود (شکل شماره‌ی ۵). بررسی بالا نمایشی ساده و آشکار از این مفهوم اولیه را ارایه می‌دهد.



شکل شماره‌ی ۵): *توضیح در متن*

جدول شماره‌ی ۱: *ضخامت* PDM *در طبقات گوناگون ریشه*

فاصله از ستیغ آلوئول (میلی‌متر)	مزیال (میلی‌متر)	لینگوال (میلی‌متر)	دیستال (میلی‌متر)	لبیال (میلی‌متر)
۱۳/۰	۰/۲۲	۰/۲۵	۰/۲۵	۰/۲۵
۱۰/۵	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۲۲
۸/۰	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۲۰
۶/۵	۰/۱۶	۰/۱۸	۰/۱۴	۰/۱۸
۵/۰	۰/۱۷	۰/۲۰	۰/۱۵	۰/۲۰
۲/۵	۰/۲۰	۰/۲۲	۰/۱۸	۰/۲۲
۰/۰	۰/۲۱	۰/۲۴	۰/۱۹	۰/۲۴

جدول شماره‌ی ۲: *خواص فیزیک عناصر تشکیل دهنده مدل موجود*

Material	Poisson's ratio	Modulus (N/mm^2) Young's
دندان	۰/۳۰	۲۰۳۰۰
P.D.M.	۰/۴۹	۰/۶۶۷
استخوان اسفنجی	۰/۳۸	۱۳۷۰۰
استخوان کورتیکال	۰/۲۶	۳۴۰۰۰

References

1- Meriam JL. Engineering Mechanics, SI version, John wylie & sons Co, 1975.

2- Beer FP, Johnston. ER: Vector mechanics for engineering: Static, 2nd SI ed. McGraw-Hill Books Co. 1990.

3- Nikolai RJ: Bioengineering analysis of orthodontic mechanics, Philadelphia, Lea & Febiger, 1985.

4- Marcotte MR: Biomechanics in orthodontics, B.C. Decker, 1990.

5- Kusy RP, Tulloch JFC: Moment/Force ratios in mechanics of tooth movement AJO/DO, 1986; 90,127-13.

6- Fortin J. Translation of premolars in the dog by controlling the moment to force ratio on the crown. Am J orthod, 1971; 59:541-5.

۷- گرامی- الهیار: نسبت گشتاور به نیرو: تحقیقی سه بعدی به کمک روش المان محدود، مجله دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز، ۱۳۷۹. سال اول شماره ۲، ۳۴-۲۶.

۸- اخوان نیاکی- اسفندیار، گرامی- الهیار: استرس‌های حاصل از اعمال نیروهای Extrusive بر دندان دچار Dilaceration در PDM، تحقیقی سه بعدی به کمک روش المان محدود، مجله دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شهید بهشتی، ۱۳۷۷. جلد ۱۶ (۲): ۱۷۹-۱۷۲.

9- Geramy A: Alveolar bone resorption and the center of resistance modification, AJO/DO, 2000;117:399-405.

10- Geramy A: Initial stress produced in the periodontal membrane by orthodontic loads in the presence of alveolar bone loss of varying extent: Three-dimensional analysis using finite element method. European Journal of orthodontics, 2002; 24 (1):21-33.

۱۱- گرامی- الهیار: تجزیه و تحلیل سیستم نیروی Cervical Headgear، تحقیقی سه بعدی به کمک روش المان محدود، مجله دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی شیراز. سال دوم شماره ۳، ۳۰-۲۱، ۱۳۷۹.

12- Ash MM: Dental Anatomy, Physiology and Occlusion, W.B. Saunders, 1984; 118-137.

13- Coolidge ED: The thickness of the human periodontal membrane, Journal of American dental association, Dental cosmos, 24,1260-1270.

14- Tanne K, Koenig HA, Burstone CJ: Moment to force ratios and the center of rotation, AJO/DO, 1988; 94:426-43.

Abstract

The Same Amount of "CRes" Displacement in Different Tooth Movements While the Applied Force is Constant: 3D Analysis Using Finite Element Method.

Geramy, DMD, MScD
Assistant Professor of Orthodontic Department School of Dentistry, Shiraz University of Medical Sciences

Tooth movement can be considered as one of the most important fields of research in orthodontics. A basic question in tooth movement has been evaluated. Does "CRes" move the same distance in different types of tooth movement while the force is kept constant? According to biomechnics, the applied force is the main determinant of "CRes" translation. FEM was employed to evaluate the problem. A 3D model was desinged and built in ANSYS Ver 5.40. The same amount of root displacement at the level of "CRes" along the force vector was shown while the force was kept constant. There were different M/F ratios with a constant force. In this way, the efficiency of FEM was proved again and a simple mechanical law was also shown clearly.

Key words: Center of resistance, M/F (Moment to force ratio), Finite Elment Method.