

یک مدل ریاضی برای آماده سازی روت کانال با استفاده از مته اندودنتیکس

چکیده

هدف: توسعه یک مدل ریاضی برای آماده سازی روت کانال (کانال ریشه) با استفاده از مته اندودنتیکس.

روش: فرآیند مسدودسازی از پر کردن حفره روت کانال با استفاده از گوتا پرچا گرمادهی شده و نرم شده تشکیل می شود؛ هدف از اینکار، بدست آوردن یک درزبند (مهر و موم) سیال محکم بیت دیوارهای کانال و گوتا پرچای پر شده، است. انجام هر گونه فرآیند مسدودسازی قبل از اینکار، مستلزم آماده سازی روت کانال است و باید بافت مرده، زیرلایه ها و پسمانده ها را از روت کانال پوسیده شده جدا سازیم. پارامترهای هندسی مختلف شامل شعاع مخروطی^۱ زاویه نسبی برای سوگیری برش عرضی بین دو صفحه، ثابت تقارن قطبی و شیب برای مته اندودنتیکس و غیره هستند. در این مطالعه، پارامترهای هندسی بدست می آیند. پارامترهای عملکردی مختلفی مانند ارزیابی عمر مته اندودنتیکس، مؤلفه های نیروی برشی (مماس و نرمال)، میزان جداسازی زیرلایه، گشتاور ایجاد شده توسط مته اندودنتیکس و غیره نیز بصورت موفقیت آمیز بدست می آیند. عمر مته اندودنتیکس بر مبنای دو رویکرد برآورد می شود که عبارتند از: سرعت و ساییدگی حجمی.

نتیجه گیری: مدل ریاضی توصیف شده برای متخصصان اندودنتیکس (عصب کشی)، محققان، مهندسان طراحی و افراد دیگر مفید می باشد. با اینحال کاربردپذیری مدل ریاضی توصیف شده، محدود به فرضیه مطالعه حاضر بود. شکاف بین «روت کانالی که باید آماده می شد» و «مته اندودنتیکس» در هنگام آماده سازی، صفر بود. فرض میشود که وزن مته اندودنتیکس، سرعت چرخش و میزان جداسازی زیرلایه ثابت باشند. اثبات شد که مدل ریاضی برای مته اندودنتیکس (که در بالا ذکر شد)، ابزار مؤثری برای مطالعه آماده سازی روت کانال است. ما پارامترهای هندسی و پارامترهای عملکردی مختلفی را استخراج کردیم.

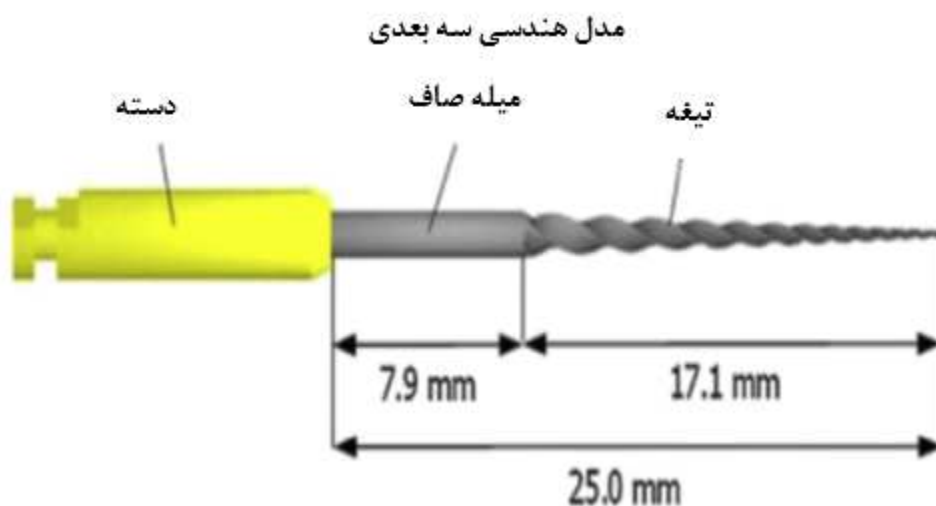
۱. مقدمه

درمان روت کانال، یکی از اقدامات کلینکی است که به بهبود دندان های پوسیده و دردناک کمک میکند. درمان روت کانال به منظور نجات دندان هایی انجام میشود که دچار عفونت شده اند یا تا حدودی آسیب دیده اند. در دندانپزشکی، معالجه روت کانال، مسدودسازی نامیده میشود. فرآیند مسدودسازی شامل پر کردن حفره روت کانال با استفاده از گوتا پرچایی است که گرمادهی و نرم شده است تا بصورت یک درزبند سیال محکم در بین دیواره کانال و گوتا پرچای پر شده در بیاید. هر فرآیند مسدودسازی که قبل از این انجام شود مستلزم آماده سازی روت کانال است و باید بافت مرده، زیرلایه ها و پسمانده ها را از روت کانال پوسیده جدا سازیم تا یک حفره مناسب ایجاد کنیم تا هر دندانسازی بتواند آنرا بصورت مؤثر پر کند (تصویری از حفره روت کانال آماده شده معمول/مناسب در شکل ۳ نشان داده شده است). ما برای فرآیند آماده سازی از مته های ساخته شده از نیتنل^۲ استفاده کردیم (هندسه مته اندودنتیکس استفاده شده برای آماده سازی روت کانال در شکل ۱ نشان داده شده است). نیتنل یک آلیاژ زیست-پذیر (زیست-سازگار) است که بصورت گسترده بعنوان یک ماده زیستی برای تولید مته اندودنتیکس نیتنل در زمینه اندودنتیکس استفاده می شود. امروزه ابزارهای نیتنل منفرد را می توانیم برای انواع مختلفی از نیازهای کاری به منظور آماده سازی روت کانال مورد استفاده قرار دهیم (به جدول ۱ نگاه کنید).

در طی استفاده از مته اندودنتیکس، حفره روت کانال در مقابل چرخش های مته مقاومت می کند (مته اندودنتیکس که برای آماده سازی وارد روت کانال شده است را در شکل ۲ می بینید) که این را از طریق استفاده از روغن های روان کننده می توانیم به حداقل برسانیم. بعلت اینکه شکست ممکن است به پارامترهای مختلفی بستگی داشته باشد بنابراین پیش بینی شکست (شکستن مته) می تواند دشوار باشد. باید در هنگام ایجاد حفره توجه زیادی به شکل حفره روت کانال داشته باشیم چون این عاملی است که بیشترین تأثیر را بر روی عمل قفل شدگی و شکست مته در کانال دارد

که می توانیم آنرا بر حسب پیچش تعریف کنیم. زمانیکه مته با انحنا در کانال می چرخد خمش رخ میدهد و بنابراین مته می شکند. برای پیش بینی فشارهای که منجر به شکستن مته می شوند می توانیم از مدل ترکیبی پیچش و خمش استفاده کنیم. پدیده شکست ناشی از خستگی در موارد مته اندودنتیکس مشاهده می شود چون مقاومت خستگی دوره ای کاهش می یابد و مقاومت خستگی پیچشی مته سبب خستگی دوره ای و بنابراین شکست خستگی پیچشی می شود. ما باید یک مدل ریاضی را توسعه دهیم که بتواند پارامترهای هندسی و پارامترهای عملکرد را بصورت دقیق برآورد کند. پارامترهای هندسی و عملکردی برای پیگیری رفتار مته اندودنتیکس در روت کانال در طی فرآیند آماده سازی، مفید هستند.

رویکردهای مختلفی در مقالات موجود مورد استفاده قرار گرفته است که عبارتند از: مدل‌های تجربی که بر مبنای برازش منحنی (خم آمایی) و مقادیر قراردادی هستند، مدل های رگرسیون و مدلسازی ریاضی با استفاده از نرم افزار MATLAB. حتی با اینکه فرمولبندی برای محاسبه عمر مته اندودنتیکس وجود دارد اما ما بر این اساس نمی توانیم در مورد ابعاد مته به منظور جلوگیری از شکست (شکستن مته) تصمیم گیری کنیم. دندانسازان بعضی اوقات از مته برای انجام بیش از یک درمان روت کانال استفاده می کنند و پیش بینی شکست دشوار می گردد. برندهای مختلف مته اندودنتیکس دارای طراحی های تجاری و نامگذاری های مختص به خود هستند و بنابراین ما صرفاً باید برندهای مختلف را از لحاظ بسندگی برای داشتن بهترین عملکرد درمان، با هم مقایسه کنیم.



شکل ۱. هندسه مته اندودنتیکس که برای آماده سازی روت کانال استفاده می شود.

۲. مواد و روشها

مدل ریاضی برای فرآیند آماده سازی روت کانال با استفاده از مته اندودنتیکس به دو بخش اصلی تقسیم می شود: یک مدل ریاضی که پارامترهای هندسی را توصیف میکند و یک مدل ریاضی که پارامترهای عملکرد را توصیف میکند.

2.1 یک مدل ریاضی که پارامترهای هندسی را برای مته اندودنتیکس توصیف میکند

مدلهای ریاضی پارامترهای هندسی از نقطه نظر «تشکیل حفره روت کانال» مهم هستند. پارامترهایی مانند شمع مخروطی مته اندودنتیکس، زاویه نسبی تعریف کننده سوگیری های برش عرضی مته اندودنتیکس، شعاع مته و غیره از مهمترین پارامترهای هندسی تأثیرگذار بر تشکیل یک حفره مناسب هستند. رابطه شعاع مته و شمع مخروطی (تیغه باریک شونده) مته در تبدیل داخلی رابطه موجود، مهم است. هندسه ساده شده مته اندودنتیکس برای مدل ریاضی در شکل ۴ نشان داده شده است.

2.2 مدلی برای شمع مخروطی مته اندودنتیکس

مته اندودنتیکس برای تمیز کردن و شکل دهی کانال و ایجاد برش های عرضی استفاده می شود. شعاع در هر نقطه ای در امتداد طول مته توسط فرمول زیر بدست می آید:

$$r(z) = r_0 + 0.5 \int_0^z t(z) dz$$

2.3 مدلی برای زاویه نسبی $\Psi(z)$

زاویه نسبی $\Psi(z)$ برای سوگیری برش عرضی در بین دو صغه که به اندازه فاصله Z از هم دور هستند را می توانیم بصورت زیر بیان کنیم

$$\Psi(z) = \int_0^z \frac{\tan[\alpha(z)]}{r(z)}$$

بر حسب شیب مته اندودنتیکس و ثابت تقارن قطبی، رابطه زیر را بدست می آوریم

$$\Psi(z+p) - \Psi(z) = \frac{360^\circ}{C}$$

2.4 شعاع در فاصله خاص z اط نوک مته اندودنتیکس

شعاع در فاصله خاص z از نوک مته اندودنتیکس با استفاده از رابطه زیر و با در نظر گرفتن شمع مخروطی مته بدست می آید

$$r(z) = r_0 + 0.5 t_z$$

2.5 مدلی برای ارزیابی زاویه نسبی Ψ

زاویه نسبی Ψ را می توانیم با استفاده از رابطه زیر محاسبه کنیم

$$\Psi(z) = \frac{2 \tan \alpha}{t} \ln \left(1 + \frac{t}{2r_0} z \right)$$

2.6 یک مدل ریاضی که پارامترهای عملکرد را برای مته اندودنتیکس توصیف میکند

پارامترهای عملکرد توصیف شده در این بخش مربوط به پدیده شکست مته اندودنتیکس هستند. مته اندودنتیکس بخاطر خستگی ناشی از عمل قفل شدگی کانال نسبت به حرکت مته اندودنتیکس، دچار شکست می شود. بنابراین پارامترهای مربوط به شکست های خستگی مختلف را مورد بررسی قرار می دهیم. سه چارچوب دکارتی سه بعدی سیستم مرجع که برای ارزیابی پارامترهای عملکرد در نظر گرفته شده، در شکل ۵ نشان داده شده است.

2.7 مدل تحلیل نیروی برشی

نیروی برشی دارای دو مؤلفه است که یکی از آنها مماس بر برش عرضی دایره ای مته و دیگری یک مؤلفه نرمال است.

مؤلفه مماسی F_t نیروی برش تیغه مته اندودنتیکس بصورت زیر بدست می آید

$$f_t = f_c \cos \beta - f_{fc} \sin \beta - f_{fw} \cos \beta_c - f_w \sin \beta_c$$

مؤلفه نرمال نیروی برش تیغه مته اندودنتیکس توسط رابطه زیر بدست می آید

$$f_n = f_c \sin \beta - f_{fc} \cos \beta - f_{fw} \sin \beta_c + f_w \cos \beta_c$$

نیروی برش توسط رابطه زیر بدست می آید

$$f_c = r_c * \frac{\pi}{4} [r_0 + 0.5 t_z]^2$$

بین مته اندودنتیکس و دیواره روت کانال اصطکاک بوجود می آید که سطح تماس آن a_c است و سطح تماس برش نامیده میشود؛ نیروی ناشی از اصطکاک هم نیروی اصطکاک نامیده می شود که در سطح تماس روی مته اندودنتیکس اعمال می شود و بصورت زیر بدست می آید

$$f_{fc} = \mu f_c = \mu r_c \frac{\pi}{4} [r_0 + 0.5 t_z]^2$$

مؤلفه نیروی نرمال بر روی سطح پوسیدگی هم عمل می کند و توسط f_w نشان داده می شود

$$f_w = R a_w * f_w = \mu R a_w$$

مؤلفه های مماس و نرمال را می توانیم بر حسب شمع مخروطی t_z و دورترین شعاع مته r_0 بدست آوریم

$$f_t = r_c * \frac{\pi}{4} [r_0 + 0.5 t_z]^2 (\sin\beta - \mu \sin\beta) + \mu R a_w$$

$$f_n = r_c * \frac{\pi}{4} [r_0 + 0.5 t_z]^2 (\sin\beta + \mu \sin\beta) + R a_w$$

در طی فرآیند تمیز کردن و شکل دهی روت کانال، پارامترهای وزن مته، سرعت چرخش و شدت جریان واریزه^۳، ثابت در نظر گرفته می شوند. با ادامه آماده سازی کانال، عمق برش کاهش می یابد و ساییدگی خطی مته افزایش می یابد. برای یافتن عمر اندودنتیکس دو روش وجود دارد: روش اول بر مبنای سرعت مته و روش دوم بر مبنای ساییدگی حجمی مته اندودنتیکس است.

جدول ۱. علائم مورد استفاده برای مته اندودنتیکس

Ψ = زاویه نسبی سوگیری برای برش عرضی مته اندودنتیکس
Z = فاصله از نوک مته اندودنتیکس
C = ثابت تقارن قطبی برای برش عرضی مته اندودنتیکس
t = شمع مخروطی مته اندودنتیکس
β = زاویه برش

μ = ضریب اصطکاک بین مته اندودنتیکس و دیواره روت کانال

a_w = سطح ساییدگی

R = مقاومت ایجاد شده توسط دیواره کانال بخاطر اعمال فشار بر مته اندودنتیکس

a_{wf} = سطح هموار ساییدگی مته اندودنتیکس

W = نیروی متراکم سازی اعمال شده بر روی مته اندودنتیکس

C_1 = ثابت تناسب نیروی متراکم سازی اعمال شده بر روی مته اندودنتیکس و مؤلفه نرمال

C_2 = ثابت تناسب ساییدگی حجمی و اصطکاک در حین کار

C_3 = ثابت تناسب میزان نفوذ در هر چرخش و عمق آماده سازی کانال

F = تعداد تیغه های مته اندودنتیکس که به جداسازی زیرلایه کمک می کنند

r_c = موقعیت شعاعی تیغه تحت بررسی مته اندودنتیکس

p = مقاومت ایجاد شده توسط دیواره کانال نسبت به مته اندودنتیکس

r_0 = دورترین شعاع مته اندودنتیکس

f_n = مؤلفه نرمال نیروی برش مته اندودنتیکس

f_t = مؤلفه نیروی برش مماسی مته اندودنتیکس

f_{fc} = نیروی اصطکاک اعمال شده بر مته اندودنتیکس

f_{fw} = نیروی اصطکاک اعمال شده بر مته اندودنتیکس در سطح هموار ساییدگی

f_w = مؤلفه نیروی نرمال که بر سطح هموار ساییدگی عمل میکند

f_c = نیروی برش مته اندودنتیکس

N = عمر مته اندودنتیکس

n = سرعت مته اندودنتیکس

W_v = ساییدگی حجمی مته

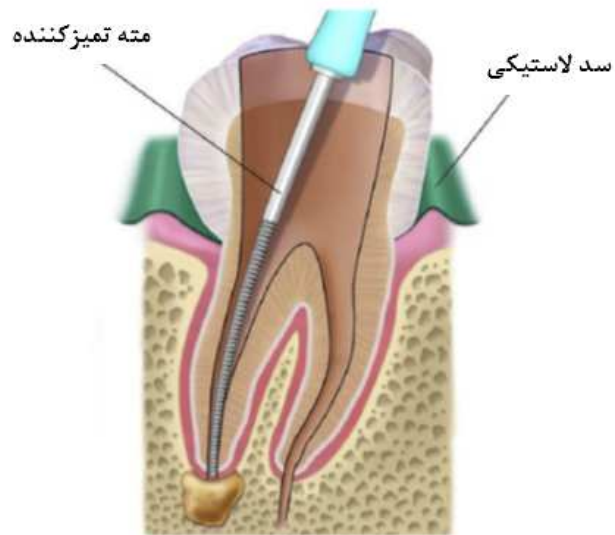
W_d = ساییدگی بی بُعد مته

f_h = نیروی افقی اعمال شده توسط تیغه مته اندودنتیکس

τ = زمان بر حسب ساعت

SRR = میزان جداسازی زیرلایه

δ = عمق آماده سازی کانال

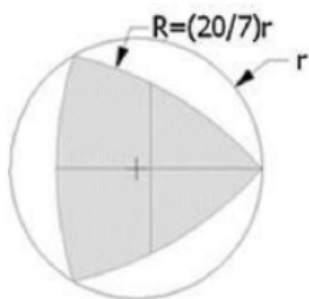


شکل ۲. مته اندودنتیکس که برای آماده سازی وارد روت کانال شده است

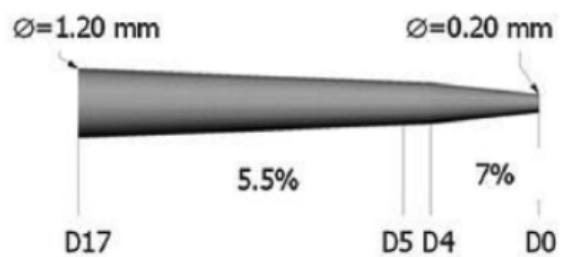


شکل ۳. حفره روت کانال آماده شده معمول/مناسب با مته هایی که برای آماده سازی استفاده می شوند.

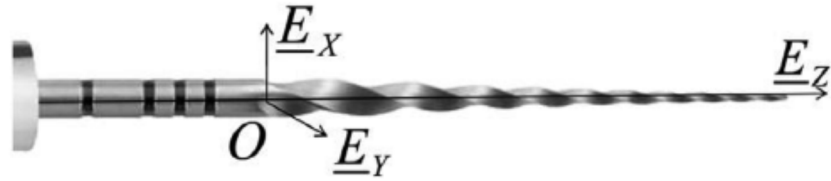
برش عرضی مثلثی محدب



شمع مخروطی متغیر تیغه



شکل ۴. هندسه ساده شده مته اندودنتیکس برای مدل ریاضی.



شکل ۵. چارچوب دکارتی سه بعدی سیستم مرجع که برای ارزیابی پارامترهای عملکرد در نظر گرفته شده است.

2.8 ارزیابی عمر با استفاده از رویکرد سرعت

در طی ارزیابی عمر مته اندودنتیکس، فرض شد که وزن وارد شده بر روی مته اندودنتیکس، سرعت چرخش آن و سرعت جریان واریزه ای که از روت کانال بیرون می آید، ثابت هستند. عمر مته اندودنتیکس توسط معادله زیر بدست می آید

$$N = 2\mu r_c n \tau$$

2.9 ارزیابی عمر با استفاده از رویکرد ساییدگی حجمی

ساییدگی حجمی بصورت زیر بدست می آید

$$W_v = 2\pi C_2 r_c \mu f_n n \tau$$

با معرفی نیروی متراکم کننده W که روی مته اندودنتیکس اعمال می شود و ثابت تناسب C_1 بین نیروی متراکم کننده اعمال شده روی مته اندودنتیکس و مؤلفه نرمال نیروی برش، خواهیم داشت:

$$W_v = (2\pi C_2 r_c \mu f_n n \tau) * \frac{w}{C_1}$$

$$W_v = \int_0^x a_{wf}(x) dx$$

$$dx = d_c \cos\beta dw$$

$$W_v = \frac{d_c^2 \cot\alpha}{2} \int_0^w \frac{\sqrt[2]{1 - 4w(1 - w)}}{2} - \sqrt[2]{w(1 - 5w + 8w^2 - 4w^3)}$$

$$W_v = \frac{d_c^2 \cot\alpha}{2} w_d$$

که W_d تابع ساییدگی حجمی بی بُعد است و بصورت زیر بدست می آید

$$W_d = \frac{\text{حجم مکعبی } W_v \text{ واقعی}}{\text{حجم مکعبی که دارای اضلاع برابر با شعاع مته است}}$$

بنابراین عمر مته اندودنتیکس بر حسب تابع ساییدگی حجمی بی بُعد W_d و با استفاده از رویکرد ساییدگی حجمی بصورت زیر بدست می آید

$$\tau = \frac{d_c^2 \cot\alpha}{2} * \frac{w_d}{2\pi C_2 r_c \mu f_n n}$$

2.10 مدلی برای میزان جداسازی زیرلایه (SRR)

با آرایش مجدد معادله (۱۲)، سطح برش بصورت زیر بدست می آید

$$a_c = \frac{f_n - R a_{wf}}{r_c (\sin\beta + \mu \cos\beta)}$$

ما می دانیم که سطح برش تابعی از عمق آماده است و بنابراین

$$a_c = f(\delta)$$

اگر δ را حل کنیم و a_c را جانشین سازی کنیم، خواهیم داشت

$$\delta = \frac{4w_d (f_n - Ra_{wf})}{d_c r_c (\sin\beta + \mu \cos\beta)}$$

با معرفی ثابت تناسب C_3 بین میزان نفوذ در هر چرخش و عمق آماده سازی کانال، خواهیم داشت

$$\text{میزان جداسازی زیرلایه (SRR)} = C_3 \delta n F$$

2.11 مدلی برای محاسبه گشتاور ایجاد شده توسط مته اندودنتیکس

با در نظر گرفتن معادلات مربوطه (۲۶)، (۲۷) و (۲۸) برای سطح برش، و مؤلفه های مماس و نرمال نیروی برش، خواهیم داشت:

$$a_c = \frac{f_n - Ra_{wf}}{r_c (\sin\beta + \mu \cos\beta)}$$

$$f_t = r_c * \frac{\pi}{4} [r_0 + 0.5 t_z]^2 (\sin\beta - \mu \sin\beta) + \mu R a_w$$

$$f_n = r_c * \frac{\pi}{4} [r_0 + 0.5 t_z]^2 (\sin\beta + \mu \sin\beta) + R a_w$$

رابطه مؤلفه افقی نیروی برش و مؤلفه های مماس را می توانیم بصورت زیر بیان کنیم

$$f_h = \frac{f_t}{\cos\Psi}$$

با وارد کردن معادلات (۲۶)، (۲۷) و (۲۸) در معادله (۲۹)، خواهیم داشت

$$f_h = f_n \frac{1 - \mu \operatorname{tg}\beta}{\mu + \operatorname{tg}\beta} - \frac{2 - \mu - \operatorname{tg}\beta}{\mu + \operatorname{tg}\beta} p a_w$$

معادله گشتاور بصورت زیر بدست می آید

$$T = \frac{1 - \mu \operatorname{tg}\beta}{\mu + \operatorname{tg}\beta} n \int_0^{r_f} f_n \rho dr - \frac{2 - \mu - \operatorname{tg}\beta}{\mu + \operatorname{tg}\beta} p \int_0^{r_f} a_w \rho r dr$$

$$a_w(r) = a_w r_c \frac{f(r)}{f(r_c)}$$

$$f_n(r) = \frac{w}{C_1(r) \delta(r)}$$

2.12 عمل قفل شدگی ایجاد شده توسط دیواره کانال

دیواره کانال دارای یک عمل قفل شدگی است که می توانیم آنرا بر حسب مقاومت ایجاد شده p بیان کنیم؛ این عمل توسط رابطه زیر بدست می آید

$$p = \left(e^{\frac{180^\circ * t}{c} \tan \alpha} - 1 \right) z + \frac{2r_0}{t} \left(e^{\frac{180^\circ * t}{c} \tan \alpha} - 1 \right)$$

۳. بحث

مدل ریاضی برای مته اندودنتیکس (که در بالا توضیح دادیم) بعنوان یک ابزار مؤثر برای مطالعه آماده سازی روت کانال، اثبات شد. پارامترهای هندسی مختلف عبارتند از: شمع مخروطی، زاویه نسبی $\Psi(Z)$ برای سوگیری برش عرضی بین دو صفحه، شیب و ثابت تقارن قطبی مته اندودنتیکس و غیره. پارامترهای هندسی را توضیح داده ایم. پارامترهای عملکردی مختلفی مانند ارزیابی عمر مته اندودنتیکس، مؤلفه های نیروی برش (مماس و نرمال)، میزان جداسازی زیرلایه، گشتاور ایجاد شده توسط مته اندودنتیکس و غیره نیز بصورت موفقیت آمیز بدست آمدند.

مدل ارائه شده برای شعاع مته اندودنتیکس را در معادلات (۱) و (۴) بیان کرده ایم، که به برآورد شعاع در هر فاصله ای (Z) از نوک مته اندودنتیکس کمک میکنند. شعاع مته اندودنتیکس یک پارامتر هندسی مهم است چون آماده سازی و شکل دهی حفره روت کانال به استفاده مناسب از قطر بستگی دارد. خصوصیات مته اندودنتیکس که توسط تولیدکنندگان ارائه شده است بر حسب قطر مته است که در امتداد طول مته متغیر خواهد بود چون مته بصورت مخروطی است. زاویه نسبی $\Psi(Z)$ برای سوگیری برش عرضی بین دو صفحه - که به اندازه فاصله Z از هم دور هستند - با استفاده از معادلات (۲)، (۳) و (۵) برآورد می شود. مؤلفه نیروی برش مماس، مؤلفه نیروی برش نرمال و نیروی

برش بترتیب توسط معادلات (۶)، (۷) و (۸) بیان شده است. اهمیت نیروی برش در جداسازی (برداشتن) زیرلایه روت کانال است. جداسازی اولیه زیرلایه با کمک نیروی برش اعمال شده توسط مته اندودنتیکس انجام میشود. ارزیابی عمر مته اندودنتیکس با استفاده از رویکرد سرعت و رویکرد ساییدگی حجم بترتیب توسط معادلات (۱۳) و (۱۴) بیان شده است. بعضی اوقات در حین استفاده از مته اندودنتیکس به منظور آماده سازی روت کانال، مته بعد از استفاده مکرر دچار شکست می شود. برای اینکه زمان دقیق شکست مته را بدانیم باید عمر مته اندودنتیکس را بر حسب تعداد چرخش هایی ارزیابی کنیم که مته قبل از شکست انجام میدهد. اگر پزشک دندانساز عمر مته را بداند پس در هنگام استفاده از مته در کانال از شکست مته اجتناب خواهد کرد. اگر عمل قفل شدگی توسط روت کانال بر روی مته بیشتر رخ دهد شکست مته زودتر رخ خواهد داد. فشار قفل شدگی ایجاد شده توسط روت کانال در مقابل چرخش مته اندودنتیکس توسط معادله (۳۲) بدست می آید. با اینحال میزان جداسازی زیرلایه، عامل مهمی برای ارزیابی ظرفیت حفاری مته اندودنتیکس است. میزان جداسازی زیرلایه توسط معادلات (۲۲)، (۲۳) و (۲۵) بدست می آید. گشتاور مته اندودنتیکس توسط معادله (۳۱) بدست می آید. هر چه مقدار گشتاور بیشتر باشد نیروی برش هم بزرگتر خواهد بود. بعلاوه اگر مقدار گشتاور بیشتر باشد می توانیم از چرخش مته اندودنتیکس حتی برای عمل های قفل شدگی نسبتاً زیاد هم مطمئن شویم.

بنابراین پارامترهای عملکرد، پارامترهایی هستند که بیشترین کمک را به جداسازی مؤثر زیرلایه، بافت مرده، و واریزه از روت کانال (که باید آماده و پر شود) می کنند. از طرف دیگر، پارامترهای هندسی، پارامترهایی هستند که بیشترین کمک را به شکل دهی کانال و تشکیل حجم مناسب حفره می کنند. پس از آماده سازی حفره مناسب، دندانساز می تواند آنرا با کمک مواد زیست-پذیری همچون گوتا پرچا پر کند.

۴. نتیجه گیری

مدل ریاضی توصیف شده برای متخصصان اندودنتیکس، محققان، مهندسان طراحی و افراد دیگر مفید است. با اینحال کاربردپذیری مدل ریاضی توصیف شده، محدود به فرضیه مطالعه حاضر است. شکاف بین روت کانال (که باید آماده شود) و مته اندودنتیکس در حین آماده سازی، صفر است. ما فرض کرده ایم که وزن مته اندودنتیکس، سرعت چرخش،

و میزان جداسازی زیرلایه، ثابت هستند. اثبات شد که مدل ریاضی برای مته اندودنتیکس (که در بالا توضیح دادیم)، ابزار مؤثری برای مطالعه آماده سازی روت کانال است. ما پارامترهای هندسی و پارامترهای عملکردی مختلف را بدست آوردیم.

References

1. Capar ID, Ertas H, Ok E, Arslan H, Ertas ET. Comparative study of different novel nickel-titanium rotary systems for root canal preparation in severely curved root canals. *J Endod*. 2014;40:52–56.
2. Saber SE, Nagy MM, Schafer E. Comparative evaluation of the shaping ability of WaveOne, Reciproc and OneShape single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth. *Int Endod J*. 2015;48:09–14.
3. Burklein S, Hinschitzka K, Dammaschke T, Schafer E. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: reciproc and waveone versus Mtwo and Protaper. *Int Endod J*. 2012;45:449–461.
4. Yared G. Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J*. 2008;41:39–44.
5. Galle EM, Woods HB. Variable weight and rotary speed for lowest drilling cost. *AAODC Annual Meeting*. American Petroleum Institute; 1960 New Orleans.
6. Galle EM, Woods HB. Best constant weight and rotary speed for rotary rock bits. *Drilling and Production Practice*. 1963;48:44–61.
7. Vieira EP, Nakagawa RKL, Buono VTL, Bahia MGA. Torsional behaviour of rotary Ni-Ti ProTaper Universal instruments after multiple clinical use. *Int Endod J*. 2009;42(10):47–53.
8. Lokhande PR, et al. A review of contemporary fatigue analysis and biomaterials studies in endodontics. *Mater Sci Forum*. 2019;969<https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/MSF.969.193>.
9. Lokhande PR. A comparative microleakage assessment in root canals obturated by three obturation techniques using fluid filtration system. *Biomed Pharmacol J*. 2019<http://dx.doi.org/10.13005/bpj/1709>.
10. Lokhande PR, et al. A review of contemporary research on root canal obturation and related quality assessment techniques. *Lecture Notes Mech Eng*. 2018https://doi.org/10.1007/978-981-13-2697-4_55.
11. Lokhande PR, et al. A review of contemporary researches on biomedical image analysis. *Commun Comput Inf Sci*. 2019https://doi.org/10.1007/978-981-13-9184-2_7.