

# ***Accuracy of Ipex-I and Root ZX Mini Electronic Apex Locators and Conventional Radiography in Determining Root Canal Length in Primary Molars with Root Resorption: A Narrative Review***

Samaneh Hemmati<sup>1</sup>,  
Nadia Elyassi Gorji<sup>2</sup>,  
Seyed Jaber Mousavi<sup>3</sup>,  
Banafsheh Soleimani<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Assistant Professor, Department of Pediatric Dentistry, Faculty of Dentistry, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

<sup>2</sup> Dentistry Student, Student Research Committee, Faculty of Dentistry, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

<sup>3</sup> Associate Professor, Department of Community Medicine, Faculty of Medicine, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

(Received August 22, 2020 ; Accepted February 22, 2021)

## ***Abstract***

**Background and purpose:** One of the main goals in pediatric dentistry is to maintain deciduous teeth until the permanent teeth grow. In cases where the pulp of deciduous teeth is involved, pulpectomy is needed which requires determining the correct working length of the canals and cleaning and filling their interior space using a proper filling material. The principles of successful endodontic treatment in permanent teeth are well known, but, determining the anatomy of the canal of deciduous teeth is difficult due to the resorption and deposition of hard tissue in the root canal, the shape, dimensions, and variable conditions of root apex. Therefore, in this narrative review, we investigated the accuracy of Ipex-I and Root ZX mini electronic apex locators and conventional radiography in root canal length determination in resorbed primary molars. A thorough search was conducted in Science Direct, Google Scholar, PubMed, Scopus, Irandoc, SID, Magiran, and Iranmedex covering the articles published in 2000–2020. According to findings, all techniques mentioned were found to have almost similar accuracy in determining the working length in resorbed deciduous molars. However, obtaining radiography images may be difficult in children, therefore, apex locators are more preferable to the conventional method.

**Keywords:** working length, accuracy, electronic apex locator, deciduous tooth

**J Mazandaran Univ Med Sci 2021; 31 (196): 189-201 (Persian).**

\* **Corresponding Author: Banafsheh Soleimani** - Faculty of Dentistry, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran (E-mail: Banafsheh.soleimani@yahoo.com)

# صحت اندازه گیری اپکس لوکیتور های I-Ipex، Root ZX mini، و رادیوگرافی کانوشنال در تعیین طول کارکرد مولر های شیری تحلیل رفته: یک مرور نقلی

سمانه همتی<sup>۱</sup>

نادیا الیاسی گرجی<sup>۲</sup>

سید جابر موسوی<sup>۳</sup>

بنفشه سلیمانی<sup>۱</sup>

## چکیده

**سابقه و هدف:** یکی از اهداف مهم در دندانپزشکی کودکان حفظ و نگهداری دندان های شیری تا زمان رویش دندان های دائمی جانشین است. در مواردی که پالپ دندان های شیری درگیر می شود، مجبور به انجام پالپکتومی خواهیم بود که انجام چنین درمانی مستلزم تعیین طول کارکرد صحیح کانال ها، پاکسازی و پر کردن فضای داخلی آن، با استفاده از ماده پرکننده مناسب می باشد. اصول درمان اندودونتیک موفق در دندان های دائمی کاملاً مشخص است ولی به دلیل تحلیل و رسوب بافت سخت در کانال ریشه دندان های شیری، شکل، ابعاد و وضعیت آپکس ریشه، متغیر می باشد که در نتیجه آن، تعیین آناتومی کانال دندان های شیری امری دشوار به شمار می رود. لذا بر آن شدیم تا در مطالعه مروری نقلی حاضر به بررسی صحت اندازه گیری اپکس لوکیتور های I-Ipex، Root ZX mini، و رادیوگرافی کانوشنال در تعیین طول کارکرد دندان های شیری تحلیل رفته پردازیم. بدین منظور جهت شناسایی مطالعات منتشر شده طی سال های ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ از پایگاه داده های Science Direct، Google scholar، PubMed، Scopus، SID، Magiran، Iranmedex و استفاده شد و نشان داده شد که روش های مورد مطالعه در تعیین طول کارکرد مولر های شیری تحلیل رفته، غالباً از دقت مشابهی برخوردار هستند ولی از آنجایی که تهیه رادیوگرافی از کودک ممکن است دشوار باشد، لذا استفاده از اپکس لوکیتورها بر روش کانوشنال ارجحیت دارد.

**واژه های کلیدی:** طول کارکرد، دقت، اپکس لوکیتور الکترونیکی، مولر های شیری

## مقدمه

یکی از اهداف مهم در دندانپزشکی کودکان حفظ و نگهداری دندان های شیری تا زمان رویش دندان های دائمی جانشین می باشد (۱). در مواردی که پالپ دندان های شیری درگیر می شود، مجبور به انجام پالپکتومی خواهیم بود که انجام چنین درمانی مستلزم تعیین طول کارکرد صحیح کانال ها، پاکسازی و پر کردن فضای داخلی آن، با استفاده از ماده پرکننده مناسب می باشد (۲).  
اصول درمان اندودونتیک موفق در دندان های دائمی کاملاً مشخص است ولی به دلیل تحلیل و رسوب

E-mail: Banafsheh.soleimani@yahoo.com

**مؤلف مسئول:** بنفشه سلیمانی - ساری: بلوار خزر، جنب کلینیک طبوبی، دانشکده دندانپزشکی، بخش اطفال

۱. استادیار، گروه دندانپزشکی اطفال، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران.

۲. دانشجوی دندان پزشکی، کمیته تحقیقات دانشجویی، دانشکده دندانپزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری

۳. دانشیار پزشکی اجتماعی، گروه پزشکی اجتماعی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۶/۱ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۳۹۹/۶/۴ تاریخ تصویب: ۱۳۹۹/۱۲/۴

می‌کند (۱۱). بزرگ‌ترین مزیت آن‌ها، تعیین محل تنگه اپیکالی (AC: Apical Constriction) به جای آپکس رادیوگرافیک می‌باشد (۴). بنابراین با این روش طول ریشه تا انتهای واقعی فورامن اپیکال مشخص می‌شود (۱۲)، خصوصاً در مواردی که فورامن اپیکال در بعد مزیدستیالی قابل رویت نمی‌باشد، آپکس لوکتورها مفید واقع می‌شوند (۷). همچنین امکان شناسایی زودهنگام پرفوریشن‌های ساختگی را حین انجام درمان پالپ فراهم می‌کنند (۱۳، ۱۴). مطالعات آزمایشگاهی و بالینی که در زمینه استفاده از آپکس لوکتور های الکترونیکی در دندان‌های شیری انجام شده است، نشان داده است که استفاده از این دستگاه‌ها باعث کاهش مدت زمان درمان، کاهش میزان اشعه دریافت شده توسط بیمار و همچنین منجر به بهبود تعیین طول کانال ریشه دندان می‌شود (۴). بنابراین با توجه به اهمیت اندازه‌گیری دقیق طول کارکرد در دندان‌های شیری، خصوصاً دندان‌های شیری تحلیل رفته به‌منظور درمان پالپکتومی، در این مطالعه مروری بر آن شده‌ایم تا به بررسی دقت آپکس لوکتورهای Root ZX mini به نمایندگی از EAL های نسل ۳، Ipx-I به نمایندگی از EAL های نسل ۴ و رادیوگرافی کانونشنال که غالباً مورد استفاده دندانپزشکان قرار می‌گیرند، بپردازیم.

## مواد و روش‌ها

در این مطالعه مرور نقلی، مقالات علمی - پژوهشی منتشر شده از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در ژورنال‌ها و بانک‌های اطلاعاتی بین‌المللی Science Direct، Irandoc SID، Scopus، PubMed، Google scholar، Magiran و Iranmedex با کلیدواژه‌های انگلیسی از قبیل "Accuracy، electronic apex locator، Primary molars، Working length، Root ZX، Ipx" و کلیدواژه‌های فارسی از جمله "آپکس لوکتورهای الکترونیک، دقت، مولرهای شیری، طول کارکرد، آپکس لوکتور Root ZX و آپکس لوکتور Ipx" با محوریت

بافت سخت در کانال ریشه دندان‌های شیری، شکل، ابعاد و وضعیت آپکس ریشه متغیر می‌باشد که در نتیجه آن، تعیین آناتومی کانال دندان‌های شیری امری دشوار به شمار می‌رود. بنابراین برای به حداقل رساندن امکان صدمه به بافت پری اپیکال و جوانه دندان جانشین، طول ریشه باید با دقت و بدون گذشتن ZOE از آپکس تعیین گردد (۳).

مطلوب‌ترین مکان برای تعیین طول کارکرد ریشه، تنگه اپیکالی یا کوچک‌ترین قطر اپیکالی ریشه می‌باشد که در آن ناحیه، بافت پالپی به بافت اپیکالی تغییر ماهیت داده و تحت عنوان Cemento-Dentinal Junction (CDJ) نامیده می‌شود (۴). معمولاً تعیین مکان واقعی تنگه اپیکالی در دندان‌های شیری که تحلیل فیزیولوژیک خود را آغاز نموده‌اند و یا به دلیل عفونت، ترومای دندانی یا نیروهای بیش از حد ارتودنسی دچار روند تحلیل پاتولوژیک شده‌اند، با مشکلاتی رو به رو می‌باشد (۵). از سویی دیگر، با گذشت زمان شکل و موقعیت آپکس در دندان‌های شیری به‌طور مرتب در حال تغییر می‌باشد؛ بنابراین تعیین مکان دقیق فورامن اپیکال (AF: Apical Foramen) امری دشوار تلقی می‌شود (۵). به‌طور معمول از روش‌های مختلفی برای تعیین طول کارکرد استفاده می‌شود که در این میان، رادیوگرافی کانونشنال رایج‌ترین روش به شمار می‌رود (۶)، اما استفاده از این تکنیک در اطفال به دلیل وابستگی رادیوگرافی به مسیر و گسترش انحنا ریشه، دشواری تعیین موقعیت دقیق فورامن اپیکالی خصوصاً در مواردی که ریشه دچار تحلیل جانبی شده است، حساس بودن رادیوگرافی طی مراحل اکسپوزر و تفسیر، تهیه تصویری ۲ بعدی از یک ساختار ۳ بعدی، معایب اشعه ایکس ناشی از تهیه رادیوگرافی، عدم همکاری بیمار و کوچک بودن حفره‌ی دهان آن‌ها، همواره با مشکلاتی همراه است (۱۰-۷).

امروزه استفاده از آپکس لوکتورهای الکترونیک به جزء لاینفکی از درمان اندودونتیک تبدیل شده است که تعیین محل آپکس ریشه دندان شیری را تسهیل

ارزیابی صحت اندازه گیری اپکس لوکیتورهای Ipx-I، Root ZX mini و رادیوگرافی کانونشنال در تعیین طول کارکرد دندانهای شیری تحلیل رفته، مورد بررسی قرار گرفتند و یافته‌های حاصل از آنها به صورت طبقه‌بندی گزارش شد.

## یافته ها

### مکانیسم عملکرد اپکس لوکیتور ها

برای اولین بار در سال ۱۹۱۸، Custer گزارش کرد که می‌توان با استفاده از جریان الکتریکی طول کارکرد را اندازه کرد (۱۵) اما در مطالعه دیگری این گونه بیان شد که مقادیر ثابتی از مقاومت الکتریکی بین غشای موکوسی و پرپودنشیوم وجود دارد که با استفاده از آن می‌توان طول ریشه را تخمین زد. علاوه بر این نشان داد که اگر اینسترومنت اندودونتیکی متصل به اهم متر، درون کانال قرار گیرد و تا زمانی که اهم متر ۴۰ میکرو آمپر را نشان دهد، به سمت انتهای اپیکالی ریشه حرکت داده شود؛ نوک اینسترومنت به لیگامنت پرپودنتال واقع در فورامن اپیکالی رسیده است. این دستگاه و نتایج حاصل از این مطالعه اساس بیش تر اپکس لوکیتورهای الکترونیکی می‌باشد (۱۶).

تمام EAL ها از بدن انسان برای تکمیل مدار الکتریکی استفاده می‌کنند به گونه‌ای که یک سمت از مدار اپکس لوکیتورها، به واسطه گیره لبی (Lip Clip) به مخاط دهان متصل می‌شود و در سمت دیگر فایل قرار می‌گیرد. در این روش فایل درون کانال دندان قرار داده می‌شود و تا زمانی که با بافت پرپودنتال تماس یابد، به سمت اپیکال حرکت داده می‌شود، بدین ترتیب مدار الکتریکی کامل می‌شود و مقاومت الکتریکی EAL ها با مقاومت الکتریکی بین فایل و مخاط دهان برابر می‌شود. در این حالت، دستگاه موقعیت اپکس را نشان می‌دهد. علاوه بر این شواهدی وجود دارد مبنی بر این که EAL ها به جای اندازه گیری امپدانس بافتی، به طور عمده امپدانس الکتروود probing (امپدانس تماسی با همان مایع) را اندازه می‌گیرند.

در مطالعه دیگری گزارش شد که اصول اندازه گیری این دستگاه را می‌توان به تنهایی با قوانین فیزیک الکتریسته توضیح داد. از طرفی دیگر برخی دیگر از پژوهشگران، روش Voltage Gradient را ارائه دادند و توانستند اندازه گیری دقیقی از طول کانال‌هایی که با الکترولیت پر شده بودند، داشته باشند. عیب عمده این روش آن است که برای اندازه گیری باید از الکترودهای ۲ قطبی مخصوصی استفاده شود که برای ورود به کانال‌های باریک ریشه، حجیم می‌باشند (۱۶).

### طبقه بندی انواع اپکس لوکیتور ها

در حالت کلی روش‌های طبقه‌بندی‌های مختلفی برای EAL ها ذکر شده است که در ادامه به آن پرداخته شده است (۱۷، ۹، ۶) (جدول شماره ۱).

مقایسه دقت روش‌های رادیوگرافیک و الکترونیکی در تعیین طول کارکرد:

پیرامون این موضوع Brum و Adriano گزارش کرده‌اند که به دلیل تشابه دقت در روش رادیوگرافیک و الکترونیکی، استفاده از اشعه ایکس برای تعیین طول کارکرد ضرورتی ندارد چرا که استفاده از اپکس لوکیتورها سریع‌تر است و از طول درمان و استرس کودک می‌کاهد (۱۸، ۱) این در حالی است که Krishnan و Sreedharan بر این باور بودند که استفاده از روش الکترونیکی در تعیین طول کانال‌ها دقت بیش تری نسبت به روش رادیوگرافیک دارد (۱۹). علی‌رغم پیشرفت‌هایی که در زمینه پیشگیری از پوسیدگی‌های دندانی در دندانپزشکی اطفال انجام شده است، همچنان بروز پوسیدگی‌هایی که منجر به درگیری پالپ و از دست رفتن زود هنگام دندان‌های شیری می‌شوند، مشکل شایعی قلمداد می‌شود (۲۰) و پالپکتومی در دندان‌های شیری که التهاب برگشت‌ناپذیر پالپی دارند یا پالپ آنها نکروز شده است، درمان معقولی برای حفظ دندان شیری به شمار می‌رود (۲۲). به دلیل تفاوت مورفولوژی

جدول شماره ۱: طبقه بندی اپکس لوکیتورها بر اساس نوع جریان الکتریسیته، مقاومت و یا امپدانس در برابر جریان و تعداد فرکانس های استفاده شده در هر دستگاه (۱۵، ۲۱، ۲۲).

نسل	نوع اپکس لوکیتور	نحوه تعیین تنگه اپیکالی	معایب و مزایا	مثال
یک (Resistance-based)	بر اساس مقاومت	اندازه گیری میزان مقاومت در برابر شدت جریان مستقیم	معایب: ۱. دقت کمی دارند ۲. به دلیل استفاده از جریان زیاد (جریان متناوب سینوسی ۱۵۰ هرتز) برای بیمار دردناک است.	- Root canal meter - Endodontic Meter - Endodontic Meter S II
دو (Impedance-based)	با فرکانس کم	اندازه گیری امپدانس (مقاومت در برابر جریان متناوب) یک فرکانس	معایب: ۱. قبل از کار باید کالیبره شوند ۲. در حضور الکترولیت ها و بافت پالپی درون کانال دقت کمی دارند	- Sono-Explorer - Sono Explorer II
با فرکانس بالا	اندازه گیری امپدانس (مقاومت در برابر جریان متناوب) یک فرکانس	عیب: دارای فایده اختصاصی می باشد مزیت: در حضور الکترولیت ها و بافت پالپی درون کانال، اندازه گیری دقیقی دارند		- Endocater
سه (Comparative Impedance-Type)	دو فرکانسی	از تفریق دو امپدانس ایجاد شده توسط دو فرکانس مختلف (۴۰۰ Hz و ۸ KHz) ، ۰٫۶۷ حاصل می شود	مزیت: در حضور سالی، هیوکلریت سدیم، EDTA و بافت پالپی، اندازه گیری بهتری نسبت به سایر آپکس لوکیتور ها دارند	- Endex - Root zx - Reypex - Apex Finder - Ipx
چهار	چند فرکانسی	تقسیم دو امپدانس ایجاد شده بین دو آلترود مختلف (بر خلاف نسل سوم تنها از امپدانس به عنوان یک الگوریتم ریاضی برای تعیین WL استفاده نمیکنند؛ بلکه از مقاومت و ظرفیت استفاده میکند و سپس آن ها را با date base مقایسه میکند) میزان RMS سیگنال اندازه گیری می شود؛ نه دامنه یا فاز آنها.	مزایا: ۱. Accuracy بالا ۲. reliability بالا ۳. sampling error کمتر ۴. consistent reading بیشتر عیب: در کانال های خشک یا نسبتاً خشک کاربرد دارند؛ بنابراین در صورت وجود آگرودا یا خونریزی زیاد، غیر قابل استفاده هستند	
پنج (Dual Frequency Ratio Type)	Dual frequency Ratio Type	علی رغم ادعایی که مبنی بر برتری عملکرد آنها وجود دارد؛ ولی هیچ وجه تمایز مشخصی به لحاظ فنی نسبت به نسل ۴ وجود ندارد.	مزیت: در صورت وجود آگرودا یا خونریزی در داخل کانال، کارایی خوبی دارند	
شش		علی رغم ادعایی که مبنی بر برتری عملکرد آنها وجود دارد؛ ولی هیچ وجه تمایز مشخصی به لحاظ فنی نسبت به نسل ۴ وجود ندارد.	مزایا: ۱. سایز کوچک (کوچکتر از کف دست دندانپزشک) ۲. دارای نمایشگر مولی مدیا و رنگی می باشند	

ریشه و کانال ها در مولرهای شیری (۲۳)، یکی از نگرانی های دندانپزشکان در خصوص درمان اندودونتیک دندان های شیری، تاثیر درمان بر تکامل جوانه دندان دائمی زیرین می باشد؛ بنابراین دستکاری نا به جای اپکس این دندان ها، می تواند منجر به بروز اختلالاتی در جوانه دندان های دائمی گردد (۲۴).

تاکنون مطالعات زیادی در زمینه دقت اپکس لوکیتورها انجام شده است ولی تحقیقات اندکی در ارتباط با قابلیت تکرار آن ها وجود دارد (۲۵). قابلیت تکرار حاکی از بدست آوردن نتایج مشابه، در شرایط مشابه برای اندازه گیری یک متغیر خاص توسط دو یا چند تکنیک می باشد (۲۵). در مطالعاتی که تکرارپذیری دستگاه های اپکس لوکیتور را در تعیین طول کانال ارزیابی می کنند ممکن است خطاهای متعددی رخ دهد و اندازه گیری طول کارکرد را با مشکل مواجه کند؛ این موارد عبارتند از عدم انطباق رابر استاپ با رفرنس تاجی، حرکت رابر استاپ بر روی فایل در حین اندازه گیری طول، موازی نبودن فایل ها و ابزار اندازه گیری و همچنین تشخیص نادرست طول فایل (۲۵). همچنین

مطالعات متعددی پیشنهاد کرده اند که دقت EAL ها در فورامن اصلی مورد ارزیابی قرار گیرد چرا که به نظر می رسد این شاخص از تنگه اپیکالی قابل اعتماد تر و تکرارپذیرتر باشد (۲۶، ۲۷). این امر بدین صورت توجیه شده است که اپکس لوکیتورهایی که براساس ظرفیت و مقاومت عمل می کنند، نیازمند تماس نوک فایل با PDL می باشند (۲۸). علاوه بر این برخی از محققین گزارش کرده اند که تنگه اپیکالی ساختار یکسانی ندارد و آناتومی ناحیه اپیکال در اپکس دندان ها با یکدیگر متفاوت می باشد (۲۹).

مطالعه بالینی Miletic و همکاران در رابطه با تکرارپذیری EAL ها نشان داد که ۴۳ درصد از تفاوت ها در محدوده  $\pm 0.5$  mm ،  $68/7$  درصد در محدوده  $\pm 1$  mm و در  $31/3$  درصد موارد اختلافی بیش تر از  $\pm 1$  mm داشته است. دلیل این اختلاف را می توان تفاوت در نوع مطالعه در نظر گرفت زیرا در شرایط آزمایشگاهی می توان کنترل و دقت بیش تری نسبت به شرایط بالینی داشت (۳۰). در سال ۱۹۹۴ اپکس یاب Root ZX معرفی شد که نحوه کار آن براساس ratio method می باشد. این وسیله

مطالعه بالینی Miletic و همکاران در رابطه با تکرارپذیری EAL ها نشان داد که ۴۳ درصد از تفاوت ها در محدوده  $\pm 0.5$  mm ،  $68/7$  درصد در محدوده  $\pm 1$  mm و در  $31/3$  درصد موارد اختلافی بیش تر از  $\pm 1$  mm داشته است. دلیل این اختلاف را می توان تفاوت در نوع مطالعه در نظر گرفت زیرا در شرایط آزمایشگاهی می توان کنترل و دقت بیش تری نسبت به شرایط بالینی داشت (۳۰). در سال ۱۹۹۴ اپکس یاب Root ZX معرفی شد که نحوه کار آن براساس ratio method می باشد. این وسیله

از دو فرکانس متفاوت استفاده می کند تا بتواند به طور همزمان امپدانس های داخل کانال را مورد ارزیابی قرار دهد، سپس خارج قسمت را با تقسیم امپدانس ایجاد شده توسط فرکانس ۸ کیلوهرتز بر امپدانس ایجاد شده توسط فرکانس ۴۰۰ هرتز محاسبه می کند و زمانی که عدد حاصل از آن برابر با  $0/67$  گردد، تنگه اپیکالی را نشان می دهد (۳۱). طبق مشخصات کارخانه سازنده، Root ZX mini و Root ZX با تکنولوژی یکسانی ساخته شده اند (۳۲). Root ZX mini حتی در حضور الکترولیت هایی از قبیل سدیم هیپوکلریت، سالین، آب یا هیدروژن پراکساید نیز از دقت خوبی برخوردار می باشد (۳۳). از طرفی دیگر Root ZX در نبود تنگه اپیکال آناتومیک در کانال های گشاد نیز، می تواند باریک ترین قطر کانال را تشخیص دهد و اندازه به دست آمده، با فایل کوچک و بزرگ قابل قیاس است (۳۴). Ipex نیز آخرین مدل از نسل ۴ اپکس لوکیتور های چند فرکانسی می باشد که به طور همزمان ظرفیت و مقاومت را برای تعیین موقعیت نوک فایل در داخل کانال، اندازه گیری می کند (۳۵). مطالعه Dandempally و همکاران نشان داد که مقادیر به دست آمده از روش الکترونیک در محدوده صفر الی یک میلی متری از اپکس رادیوگرافیک برای اپکس لوکیتور Root ZX ۸۷/۳۳ درصد و برای Ipex ۸۱/۳۳ درصد می باشد که این میزان به لحاظ بالینی قابل قبول است (۳۶) و نتایج آن با نتایج مطالعه Nelson-Filho (۳۵) هم راستا می باشد. Beltram و همکاران نیز که دقت اپکس لوکیتور Root ZX را در شرایط *ex vivo* و *in vivo* بر روی دندان های شیری بررسی کرده بودند، گزارش کردند که اپکس لوکیتور Root ZX می تواند طول کارکرد ریشه دندان های شیری را صرف نظر از وجود یا عدم وجود تحلیل ریشه با دقت  $\pm 1$  mm، تا بیش از ۹۰ درصد به درستی اندازه گیری کند (۳۷).

همچنین Bhat و همکاران، دقت Ipex را در فاصله  $\pm 0/5$  mm از اپکس، ۷۰/۸ درصد و در  $\pm 1$  mm ۹۰/۸ درصد گزارش کردند (۲۴). از طرفی دیگر Krajczar و

همکاران نیز از ۲ روش رادیوگرافی و الکتریکی برای تعیین طول کانال پالاتال و مزیوباکال مولر های دائمی ماگزیلا در شرایط آزمایشگاهی استفاده کرده اند که اختلاف آماری معناداری بین این دو روش در کانال پالاتالی یافت نشد اما در ارتباط با کانال مزیوباکال، این اختلاف معنادار بود  $(P=0/048)$  (۳۸)؛ علت این تفاوت ممکن است به دلیل کم تر بودن تعداد نمونه ها، نوع دستگاه، تفاوت دقت دستگاه در دندان های شیری یا دائمی، تفاوت در شرایط آزمایشگاهی و همچنین تفاوت در روش های آماری مورد استفاده در مطالعات مختلف باشد. بدین ترتیب یافته های حاصل از اندازه گیری EAL ها در محیط آزمایشگاهی، تفاوت هایی با یکدیگر دارند که به دلیل تاثیر عواملی از قبیل نوع محیط انتخاب شده، دقت و کیفیت دستگاه های اپکس لوکیتور مورد بررسی و شرایط دندان های انتخاب شده می باشد (۳۹). همچنین لازم به ذکر است که مطالعه Kielbassa و همکاران در تعیین طول کارکرد دندان های شیری نشان داد که در اکثر موارد Root ZX طول کانال را منطبق یا کوتاه تر از طول واقعی کانال اندازه گیری می کند  $(0/98 \pm 1/75$  mm) و تنها در ۱/۹ درصد موارد، طول کارکرد بیش تر از طول واقعی کانال گزارش شده است (۵)؛ همچنین بیان کردند که شرایط کلینیکی داخل کانال از جمله وایتال بودن/نبودن پالپ، وجود/عدم وجود تحلیل ریشه و نوع دندان و کانال ریشه تاثیر معناداری بر عملکرد دستگاه ندارد (۵). Mente و شهرابی نیز طی تحقیقاتی که به صورت *in vitro* بر روی دندان های شیری انجام داده اند، عنوان کردند که در شرایط آزمایشگاهی وجود تحلیل در دندان های شیری بر دقت EAL ها تاثیری ندارد (۴۰، ۴۱). در همین راستا کوتاه تر نشان داده شدن طول کانال توسط EAL ها را می توان اینگونه توجیه کرد که هنگام تماس نوک فایل با نسوج اطراف اپکس، آلام می دهد. در اغلب موارد نسوج اطراف اپکس مقداری (هر چند اندک) به درون فضای کانال نفوذ می کند که این میزان در مواردی که تحلیل وجود دارد یا اپکس ها باز و گشاد

هستند، بیش تر می باشد؛ در نتیجه نوک فایل در فاصله‌ای کوتاه‌تری از فورامن اپیکال با نسوج پری اپیکال تماس می یابد و به طور غالب طول کارکرد کوتاه تر نشان داده می شود ولی از آن جایی که در پالپکتومی دندان‌های شیری، طول کارکرد کم تر از طول واقعی کانال می باشد، به نظر می رسد که طول گزارش شده کم تر توسط دستگاه، در این زمینه مطلوب باشد (۴۲). این در حالی است که در محیط آزمایشگاهی، ژل یا آلتریناتی که به عنوان ماده electro-conductive به منظور شبیه سازی بافت پرپودنشیوم اطراف ریشه استفاده می شوند، نمی توانند مانند نسوج پری اپیکال به فضای داخل کانال پیشروی کنند؛ بنابراین توانایی نفوذ به درون کانال ریشه های تحلیل رفته و فاقد تحلیل، را نخواهند داشت. از این رو EAL ها نمی توانند در شرایط آزمایشگاهی تفاوتی را بین این دو وضعیت (ریشه تحلیل رفته و بدون تحلیل) قائل شوند (۴۳).

بنابر بررسی های Huang، الگوهای تجربی جهت ارزیابی دقت اپکس لوکیوتورها نشان داد که ثابت بودن مقاومت الکتریکی بین غشای مخاطی و بافت های پرپودنتال، تنها یک ویژگی فیزیکی قلمداد می شود نه یک پدیده زیست شناختی و تکامل یافته؛ بدین ترتیب پژوهش های گوناگونی، در محیط های مختلفی که مقاومت الکتریکی مشابهی با پرپودنشیوم دارند، انجام شده است (۳۹). در همین راستا می توان مواد electro-conductive متعددی از قبیل آگار، ژلاتین، نرمال سالین، آلترینات و ... را به منظور شبیه سازی محیط *in vivo* و جهت ارزیابی دقت EAL ها مورد استفاده قرار داد؛ با این حال از بین موارد فوق الذکر، آلترینات بیش تر ترجیح داده می شود چرا که خاصیت electro-conductive آن می تواند لیگامنت پرپودنتال را شبیه سازی کند، دندان را محکم در بر بگیرد، به لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه تر است، کار با آن راحت تر است و ریشه را به طور کامل می پوشاند که همین امر از ایجاد سوگیری حین اندازه گیری پیشگیری می کند (۴۴).

سایر فاکتورهای تاثیرگذار بر دقت اپکس لوکیوتورها حین درمان ریشه، مواد متعددی با خواص آنتی باکتریال، لوپریکت (لغزنده کننده) به هدف کنترل اسمیر لایر و توانایی حل کردن بافت های ارگانیک و غیر ارگانیک به کار می روند (۴۵) که عبارتند از سدیم هیپوکلریت (NaOCl)، کلر هگزیدین، اتیلن دی آمین تتراسیتیک (EDTA)، MTAD، Rc-Preb، کلسیم هیدروکساید و ... (۴۶). برخی از محققین بر این عقیده اند که صحت اندازه گیری EAL ها مستقل از غلظت هیپوکلریت سدیم می باشد و به دلیل خاصیت بالای آن در هدایت جریان الکتریکی و توانایی نفوذ به توبول های عاجی دیواره های کانال، از امیدانس الکتریکی می کاهد و باعث می شود تا تماس الکتریکی بهتری با بافت پری اپیکال برقرار شود (۴۷). کلسیم هیدروکساید نیز از داروهای داخل کانال می باشد که به عنوان ماده آنتی باکتریال، در بین جلسات درون کانال ها قرار داده می شود و از خاصیت آنتی باکتریال قابل توجهی علیه اکثر گونه های عفونت زای باکتریایی برخوردار است. در حالت کلی این فرضیه وجود دارد که هر چه تماس بین فایل و دیواره عاجی ریشه بیش تر باشد، نتایج به دست آمده از EAL دقت بیش تری دارد ولی در اثر استفاده از کلسیم هیدروکساید، طول کانال کوتاه تر از طول واقعی گزارش می شود که این امر ممکن است با تماس ناکامل بین دیواره عاجی و فایل توجیه شود (۴۸). در راستای نتایج این مطالعه، Uzunoglu گزارش کرد که بقایای کلسیم هیدروکساید درون کانال، بر دقت تعیین طول کارکرد بواسطه اپکس لوکیوتورها، تاثیر منفی می گذارد (۴۹)، این در حالی است که برخی از مطالعات نشان داده اند که حتی با وجود کلسیم هیدروکساید (۵۰) و irrigator هایی از قبیل سدیم هیپوکلریت، کلر هگزیدین، نرمال سالین، ماده بی حسی، چرک و یا بافت های نکروتیک درون کانال، تعیین طول کارکرد با استفاده از EAL ها از صحت بالایی برخوردار است (۵۱) و برای دستیابی به این میزان از دقت در اندازه گیری، ضروری است که دندانپزشک

به خوبی از آناتومی کانال و variation های احتمالی آن، آگاه باشد (۱). علاوه بر موارد فوق الذکر، از جمله مواردی که ممکن است بر دقت اپکس لوکیتورها در تعیین طول کارکرد اثر بگذارد، قطر فایل می باشد (۵۲). بر اساس مطالعات قبلی، هر چه قطر فایل افزایش یابد، دقت دستگاه اپکس لوکیتور نیز حین اندازه گیری طول کانال افزایش می یابد (۵۳، ۴۴). Ayranci و همکاران نیز نشان دادند که هر چه قطر فایلی که در باریک ترین قسمت کانال ریشه قرار می گیرد بیش تر باشد، بر دقت اندازه گیری با اپکس لوکیتور نیز افزوده می شود (۴۸). همچنین ارتباط دقت اپکس لوکیتور با curve ریشه هم مطرح شده است که بنابر مطالعه Sharma و همکاران، دقت اپکس لوکیتور زمانی که ریشه curve ملایمی داشته باشد، نسبت به زمانی که curve متوسط تا شدید باشد، بیش تر می باشد (۵۴) اما ساعتچی نظر مخالفی دارد و انحنای ریشه را با دقت اپکس لوکیتور مرتبط نمی داند (۵۵).

در انتها مطلب دیگری که در زمینه دقت اپکس لوکیتورها مطرح می شود، تداخل الکترومغناطیس می باشد. از آنجایی که امروزه استفاده از تلفن های همراه بخش مهمی از زندگی ما را تشکیل می دهند، این فرضیه مطرح شده است که امواج radiofrequency حاصل از آن می تواند به تداخل الکترومغناطیس (EMI: Electro Magnetic Interference) بیانجامد که تحت عنوان تداخل radiofrequency (RFI: Radio frequency Interference) نیز نامیده می شود و بر هدایت جریان در مدار تولید شده توسط EAL اثر می گذارد. این اختلال ممکن است از جریان مدار بکاهد و یا حتی عملکرد آن را متوقف کند (۵۶).

مطالعه Patel و همکاران نشان داد که تلفن های همراه می توانند بدون نگرانی از ایجاد EMI بین تلفن همراه و EAL، استفاده شوند (۵۵).

Jain و همکاران نیز مطالعه مشابهی با هدف ارزیابی تداخل تلفن همراه هوشمند (Iphone 5s) حین تعیین طول کارکرد با اپکس لوکیتور Root zx و Ipex II انجام

دادند و گزارش کردند که در اپکس لوکیتورهای مورد مطالعه، اثر مهارتی یا مداخله ای ناشی از تلفن های همراه مشاهده نشده است (۳۱) که این نتایج با یافته های مطالعات Gohil (۵۷)، Sindhu (۵۸) و Hurstel (۵۹) هم راستا بود. در حالی که Madhureema گزارش کرد زمانی که تلفن همراه در مجاورت EAL قرار داده شود، تشعشعات حاصل از آن می تواند در عملکرد دستگاه تداخل ایجاد کند؛ بنابراین توصیه کرد که تمام تلفن های همراه، خصوصاً در زمان استفاده از EAL ها، در حالت stand by قرار بگیرند (۶۰).

## بحث

در این مطالعه مروری نشان داده شد که روش های مورد مطالعه در تعیین طول کارکرد مولرهای شیری تحلیل رفته، غالباً از دقت مشابهی برخوردار هستند. علی رغم فاکتورهای احتمالی تاثیرگذار بر دقت اندازه گیری اپکس لوکیتورها، استفاده از آن ها سریع، راحت، بدون درد غیرتهاجمی و ایمن می باشد و مزایای متعددی دارد ولی از نیاز ما به رادیوگرافی اولیه نمی کاهد چراکه برای تشخیص درست، ارزیابی میزان تحلیل ریشه، تعیین curve ریشه و نشان دادن موقعیت دندان شیری نسبت به جوانه دندان دائمی در معاینات اولیه کمک کننده می باشد (۱) و در مواردی که تفاوت در روش های متفاوت اندازه گیری، بیش از ۲ میلی متر باشد، ممکن است ضرورت داشته باشد تا برای تعیین طول، مجدداً یک گرافی پری اپیکال تهیه شود تا احتمال هرگونه پرفراسیون یا نقص در عملکرد دستگاه، رد شود (۶۰). با این حال به دلیل ۲ بعدی بودن تصویر رادیوگرافیک، تعیین طول کارکرد با این روش، همواره مشکلاتی را در پی دارد که تفسیر رادیوگرافیک را با مشکل مواجه می کند چراکه تحلیل ممکن است از طریق ریشه به داخل کانال ها گسترش یابد و راه های ارتباطی بیش تری غیر از فورامن اپیکال یا کانال های جانبی و فرعی با بافت پری اپیکال برقرار کند. خصوصاً این که این فرآیند در

دارد، نحوه قرار دادن فیلم درون دهان بیمار و مراحل ظهور و ثبوت فیلم می‌باشد (۲۴). به همین ترتیب استفاده از اپکس لوکیتورها بر روش کانوشنال ارجحیت دارد.

## سپاسگزاری

این مقاله مشتق از پایان‌نامه درجه دکتری عمومی دندانپزشکی خانم نادیا الیاسی به شماره ۲۵۱۷ می‌باشد که با کد اخلاق IR.MAZUMS.REC.1398.5148 در سامانه سیات به ثبت رسیده است. بدین وسیله از معاونت تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی مازندران به دلیل حمایت‌ها و همکاری در این پایان‌نامه کمال تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

تمام سطوح ریشه رخ می‌دهد (۶۱). از طرفی دیگر ممکن است که اپیکال فورامن به جای این که به صورت apico-central قرار بگیرد، به صورت لترالی واقع شود. همچنین تشخیص موقعیت آن در رادیوگرافی، زمانی که در سطح فاشیال یا لینگوال ریشه قرار گرفته باشد نیز دشوار است و محدودیت‌هایی را به دنبال دارد که عبارتند از دیستورشن (Distortion) یا بدشکلی تصویر، سوپر ایمپوزیشن (Super-imposition) ریشه و/یا ساختارهای آناتومیک مثل جوانه‌های دندان‌های دائمی زیرین، اکسپوژر اشعه یونیزه، افزایش طول مدت درمان و کنترل بیمار. همچنین یکی دیگر از مشکلات مهمی که در ارتباط با رادیوگرافی داخل دهانی پری اپیکال وجود

## References

1. Brum ICS, Maia CA, Diniz MVT, Fernandes AM, Fernandes MLDMF. Agreement Between Working Length Measurements in Primary Teeth Obtained by Radiographs or Apical Locators. *Pesquisa Brasileira em Odontopediatria e Clínica Integrada* 2020; 20(7): e4525.
2. Coll James A, Vargas K, Marghalani AA, Chen CY, Alshamali S, Dhar V, et al. A systematic review and meta-analysis of nonvital pulp therapy for primary teeth. *Pediatr Dent* 2020; 42(4): 256-461.
3. Abdullah A, Singh N, Rathore MS, Tandon S, Rajkumar B. Comparative evaluation of electronic apex locators and radiovisiography for working length determination in primary teeth in vivo. *Int J Clin Pediatr Dent* 2016; 9(2): 118-123.
4. Chhil H. Apex locators-Review. *World Journal of Advanced Scientific Research* 2020; 3(1): 9-22.
5. Kielbassa AM, Muller U, Munz I, Monting JS. Clinical evaluation of the measuring accuracy of ROOT ZX in primary teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003; 95: 94-100.
6. Adriano LZ, Barasuol JC, Cardoso M, Bolan M. In vitro comparison between apex locators, direct and radiographic techniques for determining the root canal length in primary teeth. *European Archives of Paediatric Dentistry* 2019; 20(5): 403-408.
7. Kim E, Marmo M, Lee CY, Oh NS, Kim IK. An in vivo comparison of working length determination by only root-ZX apex locator versus combining root-ZX apex locator with radiographs using a new impression technique. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 2008; 105(4): e79-e83.
8. Krajczár K, Marada G, Gyulai G, Tóth V. Comparison of radiographic and electrical working length determination on palatal and mesio-buccal root canals of extracted upper molars. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontics*

- 2008; 106(2): 90-93.
9. Gordon M, Chandler N. Electronic apex locators. *International Endodontic Journal* 2004; 37(7): 425-437.
  10. Akisue E, Gavini G, de Figueiredo JAP. Influence of pulp vitality on length determination by using the Elements Diagnostic Unit and Apex Locator. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 2007; 104(4): 129-132.
  11. Tufenkci P, Kalaycı A. Evaluation of the accuracy of different apex locators in determining the working length during root canal retreatment. *J Dent Res Dent Clin Dent Prospects* 2020; 14(2): 125-129.
  12. Chukka RR, Bellam MD, Marukala NR, Dinapadu S, Konda NK, Nagilla J. Efficiency of an integrated apex locator in determining working length in various irrigating solutions: An in vivo study. *Journal of Pharmacy & Bioallied Sciences* 2020; 12(Suppl 1): S410-414.
  13. Bilaiya S, Patni PM, Jain P, Pandey SH, Raghuvanshi S, Bagulkar B. Comparative Evaluation of Accuracy of IpeX, Root ZX Mini, and Epex Pro Apex Locators in Teeth with Artificially Created Root Perforations in Presence of Various Intracanal Irrigants. *Eur Endod J* 2020; 5(1): 6-9.
  14. Neena I, Ananthraj A, Praveen P, Karthik V, Rani P. Comparison of digital radiography and apex locator with the conventional method in rootlength determination of primary teeth. *Journal of Indian Society of Pedodontics and Preventive Dentistry* 2011; 29(4): 300-304.
  15. Custer C. Exact methods for locating the apical foramen. *J Nat Dent Assoc* 1918; 5: 815-819.
  16. Ebrahim AK, Wadachi R, Suda H. Electronic apex locators—a review. *Journal of Medical and Dental Sciences* 2007; 54(3): 125-136.
  17. McDonald RE, Avery DR. *Dentistry for the Child and Adolescent*. 8<sup>th</sup> ed. Mosby Incorporated; 2004: 391-412.
  18. Adriano L, Barasul J, Cardoso M, Bolan M. In vitro comparison between apex locators, direct and radiographic techniques for determining the root canal length in primary teeth. *European Archives of Paediatric Dentistry* 2019; 20(5): 403-408.
  19. Krishnan IS, Sreedharan S. A comparative evaluation of electronic and radiographic determination of root canal length in primary teeth :An in vitro study. *Contemp Clin Dent* 2012; 3(4): 416-420.
  20. Ahamed SSS, Reddy VN, Krishnakumar R, Mohan MG, Sugumaran DK, Rao AP. Prevalence of early loss of primary teeth in 5–10-year-old school children in Chidambaram town. *Contemporary Clinical Dentistry* 2012; 3(1): 27.
  21. Singh H, Kapoor P. Generations of apex locators: which generation are we in? *Stomatological Dis Sci* 2019; 3: 4.
  22. Dimitrov S, Roshkev D. Sixth generation adaptive apex locator. *Journal of IMAB-Annual Proceeding (Scientific Papers)* 2009; 15(2009): 75-78.
  23. Ahmed H. Anatomical challenges, electronic working length determination and current developments in root canal preparation of primary molar teeth. *International Endodontic Journal* 2013; 46(11): 1011-1022
  24. Bhat KV, Shetty P, Anandakrishna L. A comparative evaluation of accuracy of new-generation electronic apex locator with conventional radiography to determine working length in primary teeth: an in vivo study. *International Journal of Clinical Pediatric Dentistry* 2017; 10(1): 34-36.

25. Yusefi MH, Attar AR, Mokhtari F. An In-vitro Comparison of Two Electronic Apex Locators of Root ZX and Smarpex. *Yazd Journal of Dental Research* 2014; 2(1): 38-45 (Persian).
26. Nekoofar M, Ghandi M, Hayes S, Dummer P. The fundamental operating principles of electronic root canal length measurement devices. *International Endodontic Journal* 2006; 39(8): 595-609.
27. Adorno C, Yoshioka T, Suda H. The effect of working length and root canal preparation technique on crack development in the apical root canal wall. *International Endodontic Journal* 2010; 43(4): 321-327.
28. de Vasconcelos BC, do Vale TM, de Menezes AST, Pinheiro-Junior EC, Vivacqua-Gomes N, Bernardes RA, et al. An ex vivo comparison of root canal length determination by three electronic apex locators at positions short of the apical foramen. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 2010; 110(2): e57-e61.
29. Herrera M, Ábalos C, Planas AJ, Llamas R. Influence of apical constriction diameter on Root ZX apex locator precision. *J Endod* 2007; 33(8): 995-998.
30. Miletic V, Beljic-Ivanovic K, Ivanovic V. Clinical reproducibility of three electronic apex locators. *International Endodontic Journal* 2011; 44(8): 769-776.
31. Mosharafian S, Mollaie N, Shoul MA, Shahrabi MS. In Vitro Comparison of Accuracy of Raypex 5 and Root ZXII Apex Locators, for Working Length Determination in Primary Teeth. *J Evolution Med Dent Sci* 2020; 9(20): 1594-1599.
32. Jain AS, Asrani H, Singhal AC, Asrani A, Deshmukh P, Jain D. Do mobile phones cause interference on electronic apex locators? An in vitro study. *Endodontology* 2017; 29(2): 142-145.
33. Varsha L, Pradeep S. Accuracy of apex locators in determining working length in single-rooted teeth-A histologic analysis. *Drug Invention Today* 2019; 11(12): 3184-3188.
34. Ayranci L, Çetinkaya A, Özkan S. The Effect of Calcium Hydroxide and File Sizes on the Accuracy of the Electronic Apex Locator in Simulated Immature Teeth. *Middle Black Sea Journal of Health Science* 2019; 5(3): 273-278.
35. Nelson-Filho P, Romualdo P, Bonifácio K, Leonardo M, Silva R, Silva L. Accuracy of the iPex multi-frequency electronic apex locator in primary molars: an ex vivo study. *International Endodontic Journal* 2011; 44(4): 303-306.
36. Dandempally A, Muppa R, Duddu M, Bhupatiraju P, Nallanchakrava S. Formulating a regression equation for determination of working length in primary molars using apex locators: a clinical study. *European Archives of Paediatric Dentistry* 2013; 14(6): 369-374.
37. Beltrame AP, Triches TC, Sartori N, Bolan M. Electronic determination of root canal working length in primary molar teeth: An in vivo and ex vivo study. *Int Endod J*. 2011; 44(5): 402-613.
38. Krajczár K, Marada G, Gyulai G, Tóth V. Comparison of radiographic and electrical working length determination on palatal and mesio-buccal root canals of extracted upper molars. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology* 2008; 106(2): e90-e93.
39. Tabrizizadeh M, Jabraeil H. An in Vitro Evaluation of Accuracy of Two Electronic Apex Locators (Foramatron V, DMG) for Tooth Length Measurement in Dry and Wet

- Conditions. *Journal of Dentistry* 2002; 3(1-2): 12-20.
40. Shahrabi M, Seraj B, Nekoofar M, Moshrefian S, KharaziFard M. An evaluation on the accuracy of an electronic apex Locator (EAL) in the determination of working length in primary teeth (In-vitro). *Journal of Dental Medicine* 2004; 17(1): 32-40 (Persian).
  41. Mente J, Seidel J, Buchalla W, Koch M. Electronic determination of root canal length in primary teeth with and without root resorption. *International Endodontic Journal* 2002; 35(5): 447-452.
  42. KaramiNogorani M, ZareJahromi M, Dehghan Z, Talaei R. Clinical Accuracy of IpeX Apex Locator for Measurement of Root Canal Length of Primary Molars. *J Islam Dent Assoc Iran* 2014; 26(1): 13-17 (Persian).
  43. Heydari A, Shahrabi M, Seraj B. Accuracy of Dentaport ZX in length determination of resorbed roots and non-resorbed roots in primary teeth. *Zahedan J Res Med Sci* 2008; 10(1): e94748 (Persian).
  44. Jadhav GR, Mittal P, Patil V, Kandekar P, Kulkarni A, Shinde S, et al. Accuracy of Different Apex Locators in Teeth with Simulated Apical Root Resorption :an In Vitro Study. *Folia Medica* 2018; 60(4): 624-631.
  45. Ebrahim A, Yoshioka T, Kobayashi C, Suda H. The effects of file size, sodium hypochlorite and blood on the accuracy of Root ZX apex locator in enlarged root canals: an in vitro study. *Australian Dental Journal* 2006; 51(2): 153-157.
  46. Torabinejad M, Walton RE. *Endodontics Principles and Practice*. 5<sup>th</sup> ed. St. Louis: Pat Joiner-Myers. Elsevier; 2015. p. 273-300.
  47. Tınaz AC, Sevimli LS, Görgül G, Türköz EG. The effects of sodium hypochloride concentrations on the accuracy of an apex locating device. *Journal of Endodontics* 2002; 28(3): 160-162.
  48. Ayranci L, Çetinkaya A, Özkan S. The Effect of Calcium Hydroxide and File Sizes on the Accuracy of the Electronic Apex Locator in Simulated Immature Teeth. *Middle Black Sea Journal of Health Science* 2019; 5(3): 273-278.
  49. Uzunoglu E, Eymirli A, Uyanik MÖ, Çalt S, Nagas E. Calcium hydroxide dressing residues after different removal techniques affect the accuracy of Root-ZX apex locator. *Restorative Dentistry & Endodontics* 2015; 40(1): 44-49.
  50. Shojaee NS, Zaeri Z, Shokouhi MM, Sobhnamayan F, Adl A. Influence of calcium hydroxide residues after using different irrigants on the accuracy of two electronic apex locators: An in vitro study. *Dental Research Journal* 2020; 17(1): 48 (Persian).
  51. Abdullah A, Singh N, Rathore MS, Tandon S, Rajkumar B. Comparative evaluation of electronic apex locators and radiovisiography for working length determination in primary teeth in vivo. *Int J Clin Pediatr Dent* 2016; 9(2): 118-123.
  52. De Sarkar M, Kundabala M, Shetty N. Effect of cell phone radiation on electronic apex locator. *International Journal of Development Research* 2018; 8 (02): 19056-19058.
  53. Herrera M, Ábalos C, Lucena C, Jimenez-Planas A, Llamas R. Critical diameter of apical foramen and of file size using the Root ZX apex locator: an in vitro study. *Journal of Endodontics* 2011; 37(9): 1306-1309.
  54. Sharma A, Tangu A. Intricate Estimation of Effects of Different Root Canal Curvatures on Accuracy Of Apex Locator: An (In-Vitro) Original Study. *J Adv Med Dent Scie Res* 2019; 7(5): 21-24.

55. Saatchi M, Irvani Sh, Akhavan Khaleghi M, Mortaheb A. Influence of Root Canal Curvature on the Accuracy of Root ZX Electronic Foramen Locator: An In Vitro Study. *Iranian Endodontic Journal* 2017; 12(2): 173-178.
56. Patel S, Attur K, Bagda K, Desai D, Kubavat R. Evaluation of Electromagnetic Interference of Smartphone on Apex Locators: An in Vivo Study. *International Journal of Research and Review* 2020; 7(2): 192-200.
57. Gohil UK, Parekh VV, Kinariwala N, Oza KM, Somani MC. Can active signals of cellphone interfere with electronic working length determination of a root canal in a dental clinic? An in vivo study. *Journal of Conservative Dentistry* 2017; 20(3): 170-173.
58. Sidhu P, Shankargouda S, Dicksit DD, Mahdey HM, Muzaffar D, Arora S. Evaluation of interference of cellular phones on electronic apex locators: An in vitro study. *J Endod* 2016; 42(4): 622-625.
59. Hurstel J, Guivarc'h M, Pommel L, Camps J, Tassery H, Cohen S, et al. Do cell phones affect establishing electronic working length? *J Endod* 2015; 41(6): 943-946.
60. ElAyouti A, Weiger R, Löst C. The ability of root ZX apex locator to reduce the frequency of overestimated radiographic working length. *J Endod* 2002; 28(2): 116-119.
61. Cohen S, Burns R. *Pathways of the Pulp*. 10th ed. St. Louis: Mosby Co; 2010. p. 654-610.