

Accuracy of Iplex-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 Hemmati¹,
Nadia Elyassi Gorji²,
Seyed Jaber Mousavi³,
Banafsheh Soleimani¹

¹ Assistant Professor, Department of Pediatric Dentistry, Faculty of Dentistry, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

² Dentistry Student, Student Research Committee, Faculty of Dentistry, Mazandaran University of Medical Sciences, Sari, Iran

³ 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 Iplex-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- Root ZX mini، Iplex- و رادیوگرافی کانوشنال در تعیین طول کارکرد مولرهای شیری تحلیل رفته: یک مرور نقلی

سمانه همتی^۱

نادیا الیاسی گرجی^۲

سید جابر موسوی^۳

بنفسه سلیمانی^۱

چکیده

سابقه و هدف: یکی از اهداف مهم در دندانپزشکی کودکان حفظ و نگهداری دندانهای شیری تا زمان رویش دندانهای دائمی جانشین است. در مواردی که پالپ دندانهای شیری در گیر می‌شود، مجبور به انجام پالپکتومی خواهیم بود که انجام چنین درمانی مستلزم تعیین طول کارکرد صحیح کanalها، پاکسازی و پر کردن فضای داخلی آن، با استفاده از ماده پرکننده مناسب می‌باشد. اصول درمان اندودونتیک موفق در دندانهای دائمی کاملاً مشخص است ولی بهدلیل تحلیل و رسوب بافت سخت در کanal ریشه دندانهای شیری، شکل، ابعاد و وضعیت آپکس ریشه، متغیر می‌باشد که در نتیجه آن، تعیین آناتومی کanal دندانهای شیری امری دشوار به شمار می‌رود. لذا بر آن شدید تا در مطالعه مروری نقلی حاضر به بررسی صحت اندازه گیری اپکس لوکیتور های Root ZX mini، Iplex- و رادیوگرافی کانوشنال در تعیین طول کارکرد دندانهای شیری تحلیل رفته پردازیم. بدین منظور جهت شناسایی مطالعات منتشرشده طی سالهای ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ از پایگاه داده‌های Iranmedex، Magiran، Irandoc، SID، Scopus، PubMed، Google scholar، Science Direct، Google scholar، از پایگاه داده‌های ایرانی از آن جایی که تهیه رادیوگرافی از کودک ممکن است دشوار باشد، لذا استفاده از اپکس مشابهی برخوردار هستند ولی از آن جایی که تهیه رادیوگرافی از کودک ممکن است دشوار باشد، لذا استفاده از اپکس لوکیتورها بر روی کانوشنال ارجحیت دارد.

واژه های کلیدی: طول کارکرد، دقیق، اپکس لوکیتور الکترونیکی، مولرهای شیری

مقدمه

تعیین طول کارکرد صحیح کanalها، پاکسازی و پر کردن فضای داخلی آن، با استفاده از ماده پرکننده مناسب می‌باشد(۲).

اصول درمان اندودونتیک موفق در دندانهای دائمی کاملاً مشخص است ولی به دلیل تحلیل و رسوب

یکی از اهداف مهم در دندانپزشکی کودکان حفظ و نگهداری دندانهای شیری تا زمان رویش دندانهای دائمی جانشین می‌باشد(۱). در مواردی که پالپ دندانهای شیری در گیر می‌شود، مجبور به انجام پالپکتومی خواهیم بود که انجام چنین درمانی جانشین می‌باشد.

E-mail: Banafsheh.soleimani@yahoo.com

مؤلف مسئول: بنفسه سلیمانی - ساری: بلوار خزر، جب کلینیک طوبی، 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 پژوهشگر اجتماعی، گروه پژوهشگر اجتماعی، دانشکده پژوهشگری، دانشگاه علوم پزشکی مازندران، ساری، ایران

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۶/۰۱ تاریخ ارجاع جهت اصلاحات: ۱۴۰۰/۰۶/۰۴ تاریخ تصویب: ۱۴۰۰/۰۶/۰۴

می کند(۱۱). بزرگترین مزیت آن ها، تعیین محل تنگه اپیکالی (AC:Apical Constriction) به جای آپکس رادیوگرافیک می باشد(۴) بنابراین با این روش طول ریشه تا انتهای واقعی فورامن اپیکال مشخص می شود(۱۲)، خصوصا در مواردی که فورامن اپیکال در بعد مزیود استالی قابل رویت نمی باشد، آپکس لوکیتورها مفید واقع می شوند(۷). همچنین امکان شناسایی زودهنگام پرفوریشن های ساختگی را حین انجام درمان پالپ فراهم می کند(۱۳،۱۴). مطالعات آزمایشگاهی و بالیتی که در زمینه استفاده از آپکس لوکیتور های الکترونیکی در دندان های شیری انجام شده است، نشان داده است که استفاده از این دستگاه ها باعث کاهش مدت زمان درمان، کاهش میزان اشعه دریافت شده توسط بیمار و همچنین منجر به بهبود تعیین طول کanal ریشه دندان می شود(۴). بنابراین با توجه به اهمیت اندازه گیری دقیق طول کارکرد در دندان های شیری، خصوصا دندان های شیری تحلیل رفته به منظور درمان پالپکتومی، در این مطالعه مروری بر آن شده ایم تا به بررسی دقت اپکس لوکیتورهای Root ZX mini به نمایندگی از EAL های نسل ۳، Iplex-I به نمایندگی از EAL های نسل ۴ و رادیوگرافی کانوشنال که غالباً مورد استفاده دندانپزشکان قرار می گیرند، پردازیم.

مواد و روش ها

در این مطالعه مرور نقلی، مقالات علمی- پژوهشی منتشر شده از سال ۲۰۰۰ تا ۲۰۲۰ در ژورنال ها و بانک های اطلاعاتی بین المللی Science Direct، Irandoc SID، Scopus، PubMed، Google scholar، Magiran و Iranmedex با کلیدواژه های انگلیسی از قبیل "Iplex Root ZX، Working length، Primary molars and کلیدواژه های فارسی از جمله "آپکس لوکیتورهای الکترونیک، دقت، مولرهای شیری، طول کارکرد، آپکس لوکیتور zx و آپکس لوکیتور Iplex" با محوریت

بافت سخت در کanal ریشه دندان های شیری، شکل، ابعاد و وضعیت آپکس ریشه متغیر می باشد که در نتیجه آن، تعیین آناتومی کanal دندان های شیری امری دشوار به شمار می رود. 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).

مطلوب ترین مکان برای تعیین طول کارکرد ریشه، تنگه اپیکالی یا کوچکترین قطر آپیکالی ریشه می باشد که در آن ناحیه، بافت پالپی به بافت اپیکالی تغییر ماهیت داده و تحت عنوان Cemento-Dentinal Junction (CDJ) Cemento-Dentinal Junction نامیده می شود(۴). معمولاً تعیین مکان واقعی تنگه اپیکالی در دندان های شیری که تحلیل فیزیولوژیک خود را آغاز نموده اند و یا به دلیل عفونت، ترومای دندانی یا نیروهای بیش از حد ارتودنسی دچار روند تحلیل پاتولوژیک شده اند، با مشکلاتی رو به رو می باشد(۵). از سوی دیگر، با گذشت زمان شکل و موقعیت اپکس در دندان های شیری به طور مرتب در حال تغییر می باشد؛ بنابراین تعیین مکان دقیق فورامن اپیکال (AF:Apical Foramen) امری دشوار تلقی می شود(۵). به طور معمول از روش های مختلفی برای تعیین طول کارکرد استفاده می شود که در این میان، رادیوگرافی کانوشنال رایج ترین روش به شمار می رود(۶)، اما استفاده از این تکنیک در اطفال به دلیل وابستگی رادیوگرافی به مسیر و گسترش انحنای ریشه، دشواری تعیین موقعیت دقیق فورامن اپیکالی خصوصاً در مواردی که ریشه دچار تحلیل جانی 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 حفره دهان آن ها، همواره با مشکلاتی همراه است(۷-۱۰).

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

در مطالعه دیگری گزارش شد که اصول اندازه گیری این دستگاه را می توان به تنهایی با قواتین فیزیک الکتریسته توضیح داد. از طرفی دیگر برخی دیگر از پژوهشگران، روش Voltage Gradient را ارائه دادند و توانستند اندازه گیری دقیقی از طول کانال هایی که با الکترولیت پر شده بودند، داشته باشند. عیب عمدۀ این روش آن است که برای اندازه گیری باید از الکترودهای ۲ قطبی مخصوصی استفاده شود که برای ورود به کانال های باریک ریشه، حجم می باشند^(۱۶).

طبقه بندی انواع اپکس لوکیتورها

در حالت کلی روش های طبقه بندی های مختلفی برای EAL ها ذکر شده است که در ادامه به آن پرداخته شده است^(۱۷،۹،۶) (جدول شماره ۱).

مقایسه دقت روش های رادیو گرافیک و الکترونیک در تعیین طول کارکرد:

پیرامون این موضوع Brum و Adriano گزارش کرده اند که به دلیل تشابه دقت در روش رادیو گرافیک و الکترونیک، استفاده از اشعه ایکس برای تعیین طول کارکرد ضرورتی ندارد چرا که استفاده از اپکس لوکیتورها سریع تر است و از طول درمان و استرس کودک می کاهد^(۱۸،۱) این در حالی است که Krishnan و Sreedharan بر این باور بودند که استفاده از روش الکترونیک در تعیین طول کانال ها دقت بیشتری نسبت به روش رادیو گرافیک دارد^(۱۹). علی رغم پیشرفت هایی که در زمینه پیشگیری از پوسیدگی های دندانی در دندانپزشکی اطفال انجام شده است، همچنان بروز پوسیدگی هایی که منجر به درگیری پالپ و از دست رفتن زودهنگام دندان های شیری می شوند، مشکل شایعی قلمداد می شود^(۲۰) و پالپکتومی در دندان های شیری که التهاب بر گشت ناپذیر پالپی دارند یا پالپ آن ها نکروز شده است، درمان معقولی برای حفظ دندان شیری به شمار می رود^(۲۲). به دلیل تفاوت مورفولوژی

ارزیابی صحت اندازه گیری اپکس لوکیتورهای Iplex-I، Root ZX mini و رادیو گرافی کانوشنال در تعیین طول کار کرد دندان های شیری تحلیل رفته، مورد بررسی قرار گرفتند و یافته های حاصل از آن ها به صورت طبقه بندی گزارش شد.

یافته ها

مکانیسم عملکرد اپکس لوکیتورها

برای اولین بار در سال ۱۹۱۸ Custer گزارش کرد که می توان با استفاده از جریان الکتریکی طول کار کرد را اندازه کرد^(۱۵) اما در مطالعه دیگری این گونه بیان شد که مقادیر ثابتی از مقاومت الکتریکی بین غشای موکوسی و پریو دنشیوم وجود دارد که با استفاده از آن می توان طول ریشه را تخمین زد. علاوه بر این نشان داد که اگر اینسترومتر اندودونتیک 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 اینسترومتر به لیگامنت پریو دنتال واقع در فورامن اپیکالی رسیده است. این دستگاه و نتایج حاصل از این مطالعه اساس بیش تر اپکس لوکیتورهای الکترونیک می باشد^(۱۶). تمام EAL ها از بدن انسان برای تکمیل مدار الکتریکی استفاده می کنند به گونه ای که یک سمت از مدار اپکس لوکیتورها، به واسطه گیره لبی (Lip Clip) به مخاط دهان متصل می شود و در سمت دیگر فایل قرار می گیرد. در این روش فایل درون کانال دندان قرار داده می شود و تا زمانی که با بافت پریو دنتال تماس یابد، به سمت اپیکال حرکت داده می شود، بدین ترتیب مدار الکتریکی کامل می شود و مقاومت الکتریکی EAL ها با مقاومت الکتریکی بین فایل و مخاط دهان برابر می شود. در این حالت، دستگاه موقعیت اپکس را نشان می دهد. علاوه بر این شواهدی وجود دارد مبنی بر این که EAL ها به جای اندازه گیری امپدانس بافتی، به طور عمدۀ امپدانس الکترود probing (امپدانس تماсی با همان مایع) را اندازه می گیرند.

جدول شماره ۱: طبقه بندی اپکس لوکیتورها بر اساس نوع جریان الکتریستیه، 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 اپکال	معایب و مزایا	مثال
یک	براساس مقاومت	اندازه گیری میزان مقاومت در برابر شدت جریان مستقیم (Resistance-based)	معایب: ۱- دقت کمی دارد ۲- دلیل استفاده از جریان زیاد (جریان متابولیک ۱۵۰ هرتز) برای پیمار دردناک است.	- Root canal meter - Endodontic Meter - Endodontic Meter S II
دو	با فرکانس کم	اندازه گیری امپدانس (مقاومت در برابر جریان متابولیک فرکانس پاک، فرکانس)	معایب: ۱- قابلیت کار با کالکوله شوند ۲- در حضور الکتروولت ها و بات پالی درون کتالال دقت کمی دارد	- Sono-Explorer - SonoExplorer II
سه	با فرکانس بالا	اندازه گیری امپدانس (مقاومت در برابر جریان متابولیک فرکانس پاک)	عیب: دارای قابل اختصاصی می باشد مزیت: در حضور الکتروولت ها و بات پالی درون کتالال، اندازه گیری دقیقی دارد	- Endocater
چهار	دو فرکانسی	از تغیر در امپدانس اجاد شده توسط دو فرکانس مختلف (۴۰۰ Hz و ۷۶۷ Hz) حاصل می شود	مزیت: در حضور سالین، هیپو کلریت سدیم، EDTA و بات پالی، اندازه گیری بهتری نسبت به سایر آپکس لوکیتورها دارد	- Endex - Root zx - Reypex - Apex Finder - Iplex
پنج	Dual frequency Ratio Type	نقش دامپانس اجراشده بین دو الکترود مختلف برخلاف نسل سوم تها از امپدانس به عنوان یک الگوگیر راضی برای تعیین WL استفاده نمی کند؛ بلکه از مقاومت و ظرفت استفاده می کند و سپس آن را با sampling error کمتر consistent reading می کند	مزایا: ۱- Accuracy ۲- reliability ۳- sampling error ۴- consistent reading مزیت: RMS سیگنال اندازه گیری می شود و نه داده با فاز آنها. عیب: در کالال های شنک ای شنک کاربرد دارد؛ بنابراین در صورت وجود اگرودا یا خونریزی زیاد، غیر قابل استفاده هستد	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.
شش	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.	مزایا: ۱- سایز کوچک‌کار (کوچکتر از کف دست دنایپریشک) ۲- دارای تماشگر مولتی مدیا و رنگی می باشد	

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 تکرار پذیر تر 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 تکرار پذیری EAL ها نشان داد که ۴۳ درصد از تفاوت ها در محدوده $\pm 0.5 \text{ mm}$ ، $\pm 0.7 \text{ mm}$ درصد در محدوده $\pm 1 \text{ mm}$ و در $31/3$ درصد موارد اختلافی بیشتر از 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 بیشتری 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

ریشه و کanal 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 آنها 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 تکرار پذیری دستگاه های اپکس لوکیتور را در تعیین طول کanal ارزیابی می کنند ممکن است خطاهای متعددی رخداد و اندازه گیری طول کار کرد 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

همکاران نیز از ۲ روش رادیوگرافی و الکتریکی برای تعیین طول کanal پالاتال و مزیوباكال مولرهای دائمی ماگریلا در شرایط آزمایشگاهی استفاده کردند که اختلاف آماری معناداری بین این دو روش در کanal پالاتالی یافت نشد اما در ارتباط با کanal مزیوباكال، این اختلاف معنادار بود ($P=0.048$)^(۳۸)؛ علت این تفاوت ممکن است به دلیل کمتر 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 موربد 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 ZX Root طول کanal را منطبق یا کوتاه تر از طول واقعی کanal اندازه گیری می کند (0.98 ± 1.75 mm)^(۴۰) و تنها در $1/9$ درصد موارد، طول کارکرد بیشتر از طول واقعی کanal گزارش شده است^(۵)؛ همچنین بیان کردند که شرایط کلینیکی داخل کanal از جمله وايتال بودن/نبودن پالپ، وجود/عدم وجود تحلیل ریشه و نوع دندان و کanal 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^(۴۱،۴۰). در همین راستا کوتاه تر نشان داده شدن طول کanal 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 کanal نفوذ می کند که این میزان در مواردی که تحلیل وجود دارد یا اپکس ها باز و گشاد

از دو فرکانس متفاوت استفاده می کند تا بتواند به طور همزمان امپدانس های داخل کanal را مورد ارزیابی قرار دهد، سپس خارج قسمت را با تقسیم امپدانس ایجاد شده توسط فرکانس ۸ کیلوهertz بر امپدانس ایجاد شده توسط فرکانس ۴۰۰ هertz 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 الکتروولیت هایی از قبیل سدیم هیپوکلریت، سالین، آب یا هیدروژن پر اکساید نیز از دقت خوبی برخوردار می باشد^(۳۳). از طرفی دیگر Root ZX در نبود تنگه اپیکال آناتومیک در کanal های گشاد نیز، می تواند باریک ترین قطر کanal را تشخیص دهد و اندازه به دست آمده، با فایل کوچک و بزرگ قابل قیاس است^(۳۴). Iplex 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 کanal، 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 ZX $87/33$ درصد و برای $81/33$ Iplex درصد می باشد که این میزان به لحاظ بالینی قابل قبول است^(۳۶) و نتایج آن با نتایج Beltram و همکاران نیز که دقت اپکس لوکیتور ZX را در شرایط in vivo و ex 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 ± 1 mm، تا بیش از 90 درصد به درستی اندازه گیری کند^(۳۷).

همچنین Bhat و همکاران، دقت ZX Root را در فاصله $90/8$ mm از اپکس، $70/8$ درصد و در ± 1 mm درصد گزارش کردند^(۲۴). از طرفی دیگر Krajczar و

ساخیر فاکتورهای تاثیرگذار بر دقت اپکس لوکیتورها حین درمان ریشه، مواد متعددی با خواص آنتی باکتریال، لوبریکت (لغزنده کتنده) به هدف کترول اسمیر لاپر و توانایی حل کردن بافت‌های ارگانیک و غیر ارگانیک به کار می‌روند^(۴۵) که عبارتند از سدیم هیپوکلریت(NaOCl)، کلر هگزیدین، اتیلن دی‌آمین تراالاستیک (Rc-Preb، MTAD، EDTA)، کلسیم هیدروکساید و ...^(۴۶). برخی از محققین بر این عقیده‌اند که صحت اندازه‌گیری EAL‌ها مستقل از غلظت هیپوکلریت سدیم می‌باشد و به دلیل خاصیت بالای آن در هدایت جریان الکتریکی و توانایی نفوذ به توبول‌های عاجی دیواره‌های کانال، از امپدانس الکتریکی می‌کاهد و باعث می‌شود تا تماس الکتریکی بهتری با بافت پری اپکال برقرار شود^(۴۷). کلسیم هیدروکساید نیز از داروهای داخل کانال می‌باشد که به عنوان ماده آنتی باکتریال، در بین جلسات درون کانال‌ها قرار داده می‌شود و از خاصیت آنتی باکتریال قابل توجهی علیه اکثر گونه‌های عفونت‌زای 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 کوتاه‌تر از طول واقعی گزارش می‌شود که این امر ممکن است با تماس ناکامل بین دیواره عاجی و فایل توجیه شود^(۴۸). در راستای نتایج این مطالعه Uzunoglu^{۴۹} گزارش کرد که بقایای کلسیم هیدروکساید درون کانال، بر دقت تعیین طول کارکرد بواسطه اپکس لوکیتورها، تاثیر منفی می‌گذارد، این در حالی است که برخی از مطالعات نشان داده‌اند که حتی با وجود کلسیم هیدروکساید^(۵۰) و irrigator هایی از قبیل سدیم هیپوکلریت، کلر هگزیدین، نرمال سالین، ماده بی‌حسی، چرک و یا بافت‌های نکروتیک درون کانال، تعیین طول کارکرد با استفاده از EAL‌ها از صحت بالایی برخوردار است^(۵۱) و برای دستیابی به این میزان از دقت در اندازه‌گیری، ضروری است که دندانپزشک

هستند، بیش تر می‌باشد؛ در نتیجه نوک فایل در فاصله‌ای کوتاه‌تری از فورامن اپکال با نسوج پری اپکال تماس می‌یابد و به طور غالب طول کارکرد کوتاه‌تر نشان داده می‌شود ولی از آن‌جایی که در پالپکتومی دندان‌های شیری، طول کارکرد کم‌تر از طول واقعی کانال می‌باشد، به نظر می‌رسد که طول گزارش شده کم‌تر توسط دستگاه، در این زمینه مطلوب باشد^(۴۲). این در حالی است که در محیط آزمایشگاهی، ژل یا آژیناتی که به عنوان ماده electro-conductive پریودنسیوم اطراف ریشه استفاده می‌شوند، نمی‌توانند مانند نسوج پری اپکال به فضای داخل کانال پیشروی کنند؛ بنابراین توانایی نفوذ به درون کانال ریشه‌های تحلیل رفته و فاقد تحلیل، را نخواهند داشت. از این رو EAL‌ها نمی‌توانند در شرایط آزمایشگاهی تفاوتی را بین این دو وضعیت (ریشه تحلیل رفته و بدون تحلیل) قائل شوند^(۴۳).

بنابر بررسی‌های Huang^{۴۴}، الگوهای تجربی جهت ارزیابی دقت اپکس لوکیتورها نشان داد که ثابت بودن مقاومت الکتریکی بین غشاء مخاطی و بافت‌های پریودنتال، تنها یک ویژگی فیزیکی قلمداد می‌شود نه یک پدیده زیست شناختی و تکامل یافته؛ بدین ترتیب پژوهش‌های گوناگونی، در محیط‌های مختلفی که مقاومت الکتریکی مشابهی با پریودنسیوم دارند، انجام شده است^(۴۹). در همین راستا می‌توان مواد electro-conductive متعددی از قبیل آگار، ژلاتین، نرمال سالین، آژینات و ... را به منظور شیوه‌سازی محیط in vivo و جهت ارزیابی دقت EAL‌ها مورد استفاده قرار داد؛ با این حال از بین موارد فوق الذکر، آژینات بیش تر ترجیح داده می‌شود چراکه خاصیت electro-conductive آن می‌تواند لیگامت پریودنتال را شیوه‌سازی کند، دندان را محکم در بر بگیرد، به لحاظ اقتصادی مفرون به صرفه‌تر است، کار با آن راحت‌تر است و ریشه را به طور کامل می‌پوشاند که همین امر از ایجاد سوگیری حین اندازه‌گیری پیشگیری می‌کند^(۴۴).

دادند و گزارش کردند که در اپکس لوکیتورهای مورد مطالعه، اثر مهاری یا مداخله‌ای ناشی از تلفن‌های همراه مشاهده نشده است^(۳۱) که این نتایج با یافته‌های مطالعات Hurstel (۵۸)، Sindhu (۵۷) و Gohil (۵۹) هم راستا بود. در حالی که Madhureema گزارش کرد زمانی که تلفن همراه در مجاورت EAL قرار داده شود، تشушعات حاصل از آن می‌تواند در عملکرد دستگاه داخل ایجاد کنند؛ بنابراین توصیه کرد که تمام تلفن‌های همراه، خصوصاً در زمان استفاده از EAL‌ها، در حالت stand by قرار بگیرند.^(۶۰)

بحث

در این مطالعه مروری نشان داده شد که روش‌های مورد مطالعه در تعیین طول کارکرد مولرهای شیری تحلیل رفته، غالباً از دقت مشابهی برخوردار هستند. علی‌رغم فاکتورهای احتمالی تاثیرگذار بر دقت اندازه گیری اپکس لوکیتورها، استفاده از آن‌ها سریع، راحت، بدون درد غیرتهاجمی و ایمن می‌باشد و مزایای متعددی دارد ولی از نیاز ما به رادیوگرافی اولیه نمی‌کاهد 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 می‌باشد^(۱) و در مواردی که تفاوت در روش‌های متفاوت اندازه گیری، بیش از ۲ میلی‌متر باشد، ممکن است ضرورت داشته باشد تا برای تعیین طول، مجدداً یک گرافی پری‌اپیکال تهیه شود تا احتمال هرگونه پرفوراسیون یا نقص در عملکرد دستگاه، رد شود.^(۶۱) 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 می‌کند چراکه تحلیل ممکن است از طریق ریشه به داخل کanal‌ها گسترش یابد و راههای ارتباطی بیشتری غیر از فورامن اپیکال یا کanal‌های جانبی و فرعی با بافت پری‌اپیکال برقرار کند. خصوصاً این که این فرآیند در

به خوبی از آناتومی کanal و variation‌های 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 می‌باشد^(۵۲). بر اساس مطالعات قبلی، هر چه قطر فایل افزایش یابد، دقت دستگاه اپکس لوکیتور نیز حین اندازه گیری طول کanal افزایش می‌یابد^(۴۴، ۵۳). Ayranci و همکاران نیز نشان دادند که هرچه قطر فایلی که در باریک‌ترین قسمت کanal ریشه قرار می‌گیرد بیشتر باشد، بر دقت اندازه گیری با اپکس لوکیتور نیز افزوده می‌شود^(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، بیشتر می‌باشد^(۵۴) اما ساعتی نظر مخالفی دارد و انحنای ریشه را با دقت اپکس لوکیتور مرتبط نمی‌داند^(۵۵).

در انتها مطلب دیگری که در زمینه دقت اپکس لوکیتورها مطرح می‌شود، تداخل الکترومغناطیسی می‌باشد. از آنجایی که امروزه استفاده از تلفن‌های همراه بخش مهمی از زندگی ما را تشکیل می‌دهند، این فرضیه مطرح شده است که امواج radiofrequency حاصل از آن می‌تواند به تداخل الکترومغناطیسی (EMI: Electro Magnetic Interference) بیانجامد radiofrequency که تحت عنوان تداخل (RFI: Radio frequency Interference) نیز نامیده می‌شود و بر هدایت جریان در مدار تولید شده توسط EAL اثر می‌گذارد. این اختلال ممکن است از جریان مدار بکاهد و یا حتی عملکرد آن را متوقف کند^(۵۶). مطالعه Patel و همکاران نشان داد که تلفن‌های همراه می‌توانند 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 zx و Root II و Ipex II انجام

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 کانوشتال ارجحیت دارد.

سپاسگزاری

این مقاله مشتق از پایان نامه درجه دکتری عمومی دندانپزشکی خانم نادیا الیاسی به شماره ۲۵۱۷ می‌باشد که با کد اخلاق ۱۳۹۸.۵.۱۴۸ IR.MAZUMS.REC. از IR.MAZUMS.REC. ۱۳۹۸.۵.۱۴۸ سامانه سیات به ثبت رسیده است. بدین وسیله از معاونت تحقیقات دانشگاه علوم پزشکی مازندران به دلیل حمایت‌ها و همکاری در این پایان نامه 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 لنزالی 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

- 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.
- 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.
- 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.
- Chhil H. Apex locators-Review. World Journal of Advanced Scientific Research 2020; 3(1): 9-22.
- 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.
- 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.
- 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.
- Krajczár K, Marada G, Gyulai G, Tóth V. Comparison of radiographic and electronical working lengthdetermination 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 Endodontics 2007; 104(4): 129-132.
 11. Tufenkci P, Kalayci 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. 8th ed. Mosby Incorporated; 2004: 391-412.
 18. Adriano L, Barasuol 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 Endodontics* 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. Mosharfian S, Mollaie N, Shoul MA, Shahabi 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. *Endodontontology* 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. Ayrancı 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 invivo 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 electronical 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): 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. MenteJ, 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 Iplex 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. 5th ed. St. Louis: Pat Joiner-Myers. Elsevier; 2015. p. 273-300.
47. Tinaz 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. Ayrancı L, Çetinkaya A, ÖzkanS. 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, Iravani Sh, Akhavan Khaleghi M, Mortahab 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.