



UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE CIÊNCIAS DA SAÚDE
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ODONTOLOGIA

MATHEUS POMPEO CALDAS SILVEIRA

**PRECISÃO DAS FUNÇÕES DE MENSURAÇÃO DE DIFERENTES
LOCALIZADORES APICAIS INTEGRADOS A NOVOS MOTORES
ENDODÔNTICOS**

FLORIANÓPOLIS

2021

MATHEUS POMPEO CALDAS SILVEIRA

**PRECISÃO DAS FUNÇÕES DE MENSURAÇÃO DE DIFERENTES
LOCALIZADORES APICAIS INTEGRADOS A NOVOS MOTORES
ENDODÔNTICOS**

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Odontologia da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito para a obtenção do título de Mestre em Odontologia – Área de concentração: Endodontia.

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Antunes Bortoluzzi.

Coorientador: Prof.^a Dr.^a Cleonice da Silveira Teixeira

FLORIANÓPOLIS

2021

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silveira, Matheus Pompeo Caldas

Precisão das funções de mensuração de diferentes localizadores apicais integrados a novos motores endodônticos / Matheus Pompeo Caldas Silveira ; orientador, Eduardo Antunes Bortoluzzi, coorientador, Cleonice da Silveira Teixeira, 2021.

68 p.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências da Saúde, Programa de Pós Graduação em Odontologia, Florianópolis, 2021.

Inclui referências.

1. Odontologia. 2. Comprimento de trabalho. 3. Localizador apical eletrônico. 4. Odontometria. I. Antunes Bortoluzzi, Eduardo . II. da Silveira Teixeira, Cleonice. III. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Odontologia. IV. Título.

MATHEUS POMPEO CALDAS SILVEIRA

**PRECISÃO DAS FUNÇÕES DE MENSURAÇÃO DE LOCALIZADORES APICAIS
INTEGRADOS A NOVOS MOTORES ENDODÔNTICOS**

O presente trabalho em nível de mestrado foi avaliado e aprovado por banca examinadora composta pelos seguintes membros:

Titulares:

Prof. Dr. Eduardo Antunes Bortoluzzi¹

Prof^a. Dr^a. Ana Maria Hecke Alves¹

Prof^a. Dr^a. Lucila Piasecki²

Suplentes:

Prof. Dr. Lucas da Fonseca Roberti Garcia¹

Prof. Dr. Tamer Ferreira Schimidt¹

¹Programa de Pós-Graduação em Odontologia, Universidade Federal de Santa Catarina

²Departamento de Periodontia e Endodontia, Universidade de Buffalo, Nova Iorque

Certificamos que esta é a **versão original e final** do trabalho de conclusão que foi julgado adequado para obtenção do título de Mestre em Odontologia.

Prof.^a Dr.^a Mariane Cardoso Carvalho

Coordenadora do Programa de Pós-Graduação em Odontologia

Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Dr. Eduardo Antunes Bortoluzzi

Orientador

Universidade Federal de Santa Catarina

*Aos meus pais, Benhur e Zoleima,
retribuo todo o esforço, incentivo,
confiança, e principalmente, amor.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, por guiar meus passos sempre no caminho da bondade e nunca me deixar perder a esperança. Todos temos momentos difíceis e ter uma força tão pura para acreditar, nos motiva a enfrentar qualquer adversidade.

Aos meus pais, Benhur e Zoleima, por tudo. Vocês sempre me proporcionaram todas as condições materiais e imateriais necessárias para eu ser quem eu sou hoje. Obrigado por regarem nosso lar com tanto amor. Todas as minhas conquistas são por vocês.

A todos os meus familiares, em especial Paulo Celso, Elenir, Isadora e Helena, por vezes distantes fisicamente, porém nunca distantes em pensamento.

À minha avó materna Eva, a senhora é um exemplo de força.

Ao meu orientador Eduardo Antunes Bortoluzzi, pela sua dedicação e seus ensinamentos. Durante a graduação e a pós-graduação ficou evidente todo o seu comprometimento com a equipe Endo UFSC e, principalmente, com os alunos. Agradeço pela oportunidade de me apresentar a ciência de perto, por me fazer crescer pessoal e profissionalmente e por todas as suas orientações na realização deste trabalho.

À professora e amiga, Cleonice da Silveira Teixeira por me permitir compartilhar dos seus conhecimentos e da sua alegria. Agradeço a oportunidade, o incentivo e o apoio em todas as horas. Agradeço toda a sua dedicação em me guiar durante a minha formação acadêmica e profissional.

Aos demais professores da equipe EndoUFSC pelos conselhos e por sempre me incentivarem. Obrigado pela disponibilidade em sempre ajudar seus alunos de graduação e de pós-graduação. O conhecimento e a alegria com que o compartilham são notáveis.

Aos meus amigos Gabriel, Leonel, Matheus e Viniceus. Vocês são o refúgio que eu preciso fora do mundo acadêmico. A amizade é um amor que nunca morre.

Ao amigo, Ihan Vitor Cardoso. Agradeço pela amizade e parceria que construímos no decorrer dos anos, e que com certeza, vou levar para minha vida. Me sinto muito feliz

e à vontade para dividir planos e conquistas com você. Agradeço pela pessoa que você é e pelo exemplo de determinação.

Ao grande amigo Victor Alexandre, minha dupla no decorrer de toda a graduação, você me fez suportar os dias de clínica. Agradeço pela amizade e por ter caminhado ao meu lado durante todo esse tempo.

À Morgana Callai Cruz, pelo amor e apoio incondicional. Por dividir comigo cada tristeza, alegria, derrota e vitória durante esse tempo. Você é um exemplo de determinação e bondade. Caminhar a vida ao seu lado é uma alegria.

Aos meus amigos de mestrado Amanda Freitas, Dayana Chaves, Filipe Vitali e Jardel Dorigon, por estarem ao meu lado durante a “batalha” do mestrado. Com vocês tudo se tornou mais leve e podem ter certeza de que esse sentimento vai para além da Universidade.

À Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pela oportunidade de realizar o curso e me fazer crescer tanto pessoal e profissionalmente.

Aos demais familiares, amigos e colegas que direta ou indiretamente participaram da realização desse trabalho e da minha vida, e que porventura não foram citados, meu mais sincero muito obrigado!

*“Não sei... Se a vida é curta
Ou longa demais pra nós,
Mas sei que nada do que vivemos
Tem sentido, se não tocamos o coração das pessoas.
Muitas vezes basta ser:
Colo que acolhe,
Braço que envolve,
Palavra que conforta,
Silêncio que respeita,
Alegria que contagia,
Lágrima que corre,
Olhar que acaricia,
Desejo que sacia,
Amor que promove.
E isso não é coisa de outro mundo,
É o que dá sentido à vida.
É o que faz com que ela
Não seja nem curta,
Nem longa demais,
Mas que seja intensa,
Verdadeira, pura... Enquanto durar”*

(Cora Coralina)

RESUMO

O objetivo do estudo foi avaliar *ex vivo* a precisão das funções “Localizador Apical Eletrônico” (LAE) e “Auto Reverso Apical” (ARA) de diferentes localizadores integrados a motores endodônticos. Foram utilizados 52 dentes unirradiculados distribuídos aleatoriamente em 4 grupos (n=13) de acordo com a função (LAE ou ARA) e motor utilizados: TriAuto ZX II; E-Connect S; iRoot Pro e Root ZX II. Após a remoção das coroas dentárias e inclusão dos espécimes em alginato, a odontometria inicial foi realizada pelo método direto, inserindo-se uma lima #10 no canal radicular até a visualização de sua ponta na borda mais cervical da abertura foraminal (comprimento real pré-operatório – CR1). Então, o forame foi ultrapassado com a lima #10 e recuada até a estabilização do status "ZERO" ou "APEX" observado no visor dos dispositivos. Um cursor de borracha foi ajustado ao ponto de referência cervical, sendo a distância entre a ponta da lima e o cursor medida com paquímetro digital e considerada como o comprimento eletrônico (CE). Para avaliação da função ARA, após a seleção da marcação “0.5” no display dos aparelhos, o sistema ProTaper Universal (Dentsply Maillefer) foi utilizado conforme as recomendações do fabricante até o instrumento F3. Os instrumentos foram utilizados até que a função “Auto Reverso Apical” dos dispositivos revertesse o sentido do movimento rotatório, indicando o término do preparo. Em seguida, o instrumento F3 foi introduzido manualmente no interior do canal até o limite apical do preparo e o cursor de borracha foi ajustado ao bordo de referência. A distância entre a ponta do instrumento e o cursor foi definida como comprimento de trabalho (CT). Depois, a lima #10 foi reintroduzida até a borda mais cervical da abertura foraminal para obtenção do comprimento real pós-operatório (CR2). Todas as mensurações foram realizadas por um único operador cegado em relação aos grupos. Os valores da diferença média entre CR1 e CE (função LAE) e, CT e CR2 (função ARA) obtidos por cada dispositivo foram analisados pelos testes one-way ANOVA e Brown-Forsythe ($\alpha=0,05$), respectivamente. O teste de Tukey foi empregado para identificar as diferenças ($p<0,05$). Na análise da função LAE o Root ZX II obteve a menor diferença média dos dispositivos sendo estatisticamente diferente dos demais, com exceção do TriAuto ZX II ($p>0,05$). O TriAuto ZX II foi semelhante ao iRoot Pro ($p>0,05$) e este último apresentou diferença média similar a do E-Connect-S ($p>0,05$). Na análise da função ARA, os aparelhos Root ZX II, iRoot Pro e o Tri Auto ZX II ativaram a função aquém da abertura foraminal, sem diferença

estatística entre si. Entretanto, o iRoot Pro obteve desempenho semelhante ao E-Connect S ($p>0,05$), único dispositivo que apresentou diferença média positiva. Na função LAE os quatro dispositivos testados apresentaram valores dentro dos limites considerados aceitáveis, entre 0,0 a 1mm aquém do forame apical. Na função ARA, os motores Root ZX II, iRoot Pro e o TriAuto ZX II reverteram o instrumento aquém da abertura foraminal, mantendo o nível apical de preparo dentro de limites considerados adequados. O motor E-Connect S não foi preciso em controlar o limite apical da instrumentação rotatória nessa função.

Palavras-chave: Comprimento de trabalho. Localizador apical eletrônico. Odontometria.

ABSTRACT

The aim of this *ex vivo* study was to evaluate the accuracy of the Electronic Apical Locator (EAL) and Apical Auto Reverse (AAR) functions of different locators integrated to endodontic devices. A total of fifty-two single-rooted teeth were randomly distributed into 4 groups (n=13) according to function (EAL or AAR) and device used: TriAuto ZX II; E-Connect S; iRoot Pro and Root ZX II. After removing the dental crowns and including the specimens in alginate, the initial odontometry was performed using the direct method, inserting a #10 file into the root canal until its tip was seen at the most cervical edge of the foraminal opening (actual preoperative length - CR1). Then, the foramen was passed with the #10 file and retracted until the stabilization of the "ZERO" or "APEX" status observed on the device display. A rubber stop was fitted to the cervical reference point and the distance between the tip of the file and the cursor, measured with a digital caliper, was considered as electronic length (EC). To evaluate the AAR function, after selecting the marking "0.5" on the device display, the ProTaper Universal system (Maillefer, Dentsply) was used according to the manufacturer's recommendations up to instrument F3. The instruments were used until the "Auto Apical Reverse" function of the devices reversed the direction of the rotational movement, indicating the end of the preparation. Then, the F3 instrument was manually introduced into the canal up to the apical limit of the preparation and the rubber stop was adjusted to the reference edge. The distance between the instrument tip and the stop was defined as working length (CT). After, the #10 file was reintroduced to the most cervical edge of the foraminal opening to obtain the actual postoperative length (CR2). All measurements were performed by a single operator blinded to the groups. The mean difference between CR1 and CE (LAE function) and CT and CR2 (ARA function) obtained by each device were analyzed by one-way ANOVA and Brown-Forsythe tests ($\alpha=0.05$), respectively. Tukey's test was used to identify differences ($p<0.05$). In the analysis of the EAL function, Root ZX II obtained the smallest mean difference of the devices, being statistically different from the others, with the exception of TriAuto ZX II ($p>0.05$). The TriAuto ZX II was similar to the iRoot Pro ($p>0.05$) and the latter presented an average similar to that of the E-Connect-S ($p>0.05$). In the analysis of the AAR function, the Root ZX II, iRoot Pro and the Tri Auto ZX II appliances activated the function below the foraminal opening, with no statistical difference between them. However, the iRoot Pro achieved similar performance to the

E-Connect S ($p>0.05$), the only device that presented a positive mean difference. In the EAL function, the four devices tested presented values within the limits considered acceptable, between 0.0 and 1mm below the apical foramen. In the AAR function, the Root ZX II, iRoot Pro and TriAuto ZX II devices reversed the instrument below the foraminal opening, keeping the apical level of preparation within limits considered adequate. The E-Connect S motor was not accurate in controlling the apical limit of the rotary instrumentation in this function.

Keywords: Working length. Electronic apex locator. Root canal measurement.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Comprimento real pré-operatório (CR1), em milímetros, dos espécimes de cada grupo (n=13).....	22
Tabela 2 - Comprimento eletrônico (CE), em milímetros, dos espécimes de cada grupo (n=13).....	23
Tabela 3 - Diferença média (desvio-padrão), em milímetros, entre o comprimento real pré-operatório (CR1) e o comprimento eletrônico (CE) obtidos através da função LAE dos diferentes dispositivos.....	25
Tabela 4 - Diferença média (desvio-padrão), em milímetros, entre o comprimento de trabalho (CT) e o comprimento real pós-operatório (CR2) obtidos através da função ARA dos diferentes dispositivos.....	26
Tabela 5 - Distribuição e porcentagem das diferenças entre o comprimento de trabalho (CT) e comprimento real pós-operatório (CR2) obtidos pelos diferentes dispositivos.....	26

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
2 OBJETIVOS E HIPÓTESES	19
2.1 OBJETIVO GERAL	19
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
2.3 HIPÓTESES NULAS	19
3 MATERIAIS E MÉTODOS	20
3.1 SELEÇÃO DA AMOSTRA	20
3.2 PREPARO DOS ESPÉCIMES.....	21
3.3 METODOLOGIA DA ANÁLISE (FUNÇÃO LAE).....	22
3.4 METODOLOGIA DA ANÁLISE (FUNÇÃO ARA)	23
3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA.....	24
4 RESULTADOS	25
5 DISCUSSÃO	28
6 CONCLUSÕES	32
REFERÊNCIAS	33
APÊNDICE I: ARTIGO CIENTÍFICO*	38
ANEXO I: PARECER CONSUBSTANCIADO DO CEPESH/UFSC	63

1 INTRODUÇÃO

Dentro da terapia endodôntica, a correta mensuração do comprimento real dos canais radiculares é fundamental (CHUGAL; CLIVE; SPANGBERG, 2003). Além de garantir que os procedimentos sejam realizados dentro dos limites das paredes dentinárias, evita a sobreinstrumentação, a sobreobturação e acidentes que podem manter os tecidos periapicais inflamados, impossibilitando seu reparo (CHUGAL; CLIVE; SPANGBERG, 2003). É importante que a medida obtida nesta etapa seja a mais próxima possível de seu comprimento real, uma vez que os estágios subsequentes do tratamento estão diretamente relacionados à essa fase (RICUCCI, 1998). Entretanto, para uma correta odontometria, não se pode negligenciar uma boa radiografia de diagnóstico, uma adequada abertura coronária, total esvaziamento da câmara pulpar, seguidos da localização e preparo da entrada dos canais (FERREIRA; FRONER; BERNADINELI, 1998).

O comprimento de trabalho (CT) é considerado a distância entre o bordo de referência coronário, adotado pelo profissional, e o limite final do preparo e obturação do canal radicular (AMERICAN ASSOCIATION OF ENDODONTISTS, 2019). É fundamental que o CT seja definido de maneira correta, pois isso permitirá que o profissional realize com segurança as subsequentes etapas do tratamento: preparo químico-mecânico, desinfecção e obturação do sistema de canais radiculares (SJOGREN *et al.*, 1990; STOBER; DURAN-SINDREU *et al.*, 2011).

Existem diferentes técnicas para a obtenção do CT, sendo que a odontometria pela técnica radiográfica é a mais difundida e foi utilizada por muito tempo (BRAMANTE; BERBERT, 1974). Ela é realizada pela inserção de um instrumento fino e calibrado no interior do canal radicular, seguida da obtenção de uma radiografia do dente, e a partir dessa, o profissional pode aplicar os métodos de Bregman ou de Ingle para a obtenção do CT (BREGMAN, 1950; INGLE, 1957).

É importante ressaltar que as radiografias constituem um método útil para a realização da odontometria, no entanto, possuem limitações como ampliação, distorção, sobreposição de estruturas anatômicas e também podem apresentar interpretação variável por diferentes profissionais (VANDE VOORDE; BJORND AHL, 1969, TAMSE; KAFFE; FISHEL, 1980). A radiografia expõe o paciente a maiores doses de radiação ionizante em comparação a outros métodos e, por apresentar a imagem em duas dimensões, não é possível identificar com precisão a constrição

apical, bem como a posição do forame apical, que pode não coincidir com o vértice radiográfico do dente (COX *et al.*, 1991).

As limitações do método radiográfico levaram ao desenvolvimento dos localizadores apicais eletrônicos (LAEs) e, atualmente, esses têm sido sugeridos como equipamentos de escolha na obtenção do CT (MARTINS, 2014; KHANDEWAL; BALLAL; SARASWATHI, 2015).

Dentre as vantagens dos LAEs em relação aos métodos radiográficos convencionais de odontometria, destacam-se a capacidade de localizar precisamente o forame apical, a facilidade e rapidez de sua utilização (SCARPARO; NEUVALD, 2006). Ainda auxiliam na detecção de perfurações, reabsorções e fraturas radiculares, devido a capacidade de acusar o momento exato em que a lima faz contato com o periodonto (KATZ, 1991). A rapidez e a praticidade do método, associadas à facilidade de comprovação do CT em qualquer etapa operatória, reúnem vantagens que não eram encontradas no método radiográfico (SCARPARO; NEUVALD, 2006).

Os primeiros LAEs são datados na década de 60, e esses equipamentos, conhecidos por serem da primeira geração, funcionavam baseados no princípio da resistência de corrente elétrica contínua (SUNADA, 1962). Devido a sua limitação de somente realizar a leitura em canais secos, esses aparelhos não apresentavam boa confiabilidade, e com o intuito de se contornar essas limitações, novos estudos e dispositivos foram propostos, como o desenvolvimento de aparelhos tipo frequência dependente, que aumentaram a precisão da leitura dos LAEs, mesmo na presença de exsudato ou fluídos no interior do canal (ANELE, 2010).

Atualmente, a maioria dos localizadores se baseiam no princípio *ratio method*, que emprega simultaneamente valores de impedância em duas frequências para uma exata precisão da ponta do instrumento no interior do canal (D'ASSUNCAO *et al.*, 2007).

A determinação eletrônica do CT é comumente realizada com o auxílio de um instrumento endodôntico manual de calibre fino (#10 ou #15) ou adaptado ao diâmetro do canal, conectado a um LAE. Quando o instrumento atinge o marco determinado pelo aparelho, o cursor é ajustado ao bordo de referência, e o comprimento real do dente (CRD) é determinado medindo na régua calibradora o comprimento da parte do instrumento inserida no canal (D'ASSUNCAO *et al.*, 2007). A medida é transferida aos instrumentos subsequentes, como exemplo, nos sistemas automatizados de níquel-

titânio empregados no preparo químico-mecânico do canal radicular (D'ASSUNCAO *et al.*, 2007).

Idealmente, deve-se confirmar o CT em diversas etapas do tratamento, para evitar sob ou sub instrumentação (SIMON, 2009). Essa medida pode ser alterada durante a instrumentação, principalmente em canais curvos (CALDWELL, 1976; FARBER; BERNSTEIN, 1983). Nesses casos, o instrumento endodôntico causa um desgaste maior na parede interna do canal dentinário, tornando-os mais retos e alterando seu comprimento (CALDWELL, 1976; FARBER; BERNSTEIN, 1983).

O Root ZX (J. Morita Corp., Kyoto, Japão) é um dos LAEs mais utilizados nos trabalhos científicos que abordam o tema (ADRIANO *et al.*, 2019). Ele tem demonstrado alta precisão, reprodutibilidade e confiabilidade sob diferentes condições do sistema de canais radiculares (PLOTINO, 2006; VASCONCELOS, 2015; PIASECKI, 2016).

Considerando que falhas na aferição do CT podem levar a uma série de efeitos negativos, combinações de LAEs com contra-ângulos redutores vêm sendo introduzidas no mercado para se alcançar a precisão dos LAEs convencionais durante o preparo químico-mecânico (GRIMBERG, 2002; ALVES, 2005). Além da função de controle constante do CT durante o preparo do canal, esses dispositivos também possuem ajuste de torque, diferentes configurações de velocidade e a função automática de reverso quando o CT previamente definido é atingido (ALTENBURGER, 2009).

Em 2005, a empresa J. Morita lançou no mercado o seu sucessor, Root ZX II, um LAE que pode ser acoplado a uma unidade de peça de mão, podendo ser vendidos juntos ou separadamente. O Root ZX II é considerado o padrão-ouro dentre os LAEs (ADRIANO *et al.*, 2019; BROON, 2019).

O Root ZX II é baseado em duas frequências e apresenta a função rotatória, permitindo que o dispositivo funcione como localizador apical ou motor endodôntico e, se necessário, a combinação de ambos (J MORITA CORP, 2018). Segundo seu fabricante, a função de “Auto Reverso Apical” (ARA) inverte o sentido da rotação quando a ponta do instrumento atinge o limite apical pré-estabelecido. De acordo com o fabricante, a barra verde que marca “0.5” corresponde a localização da constrição apical (CA) e a barra que marca “APEX” sinaliza quando a ponta do instrumento atinge o forame apical (FA). Ainda que a função ARA possa ser configurada em diferentes níveis de marcação, a recomendação do fabricante é de que se configure na marcação

“0.5”, pois, as outras marcações são arbitrárias e servem apenas para indicar se o instrumento está se aproximando ou se afastando da constrição apical (J MORITA CORP, 2018).

O TriAuto ZX (J. Morita Corp., Kyoto, Japão) é um dispositivo combinado, onde o localizador apical Root ZX, baseado em taxa de impedância, foi acoplado à peça de mão TriAuto ZX. Seu sucessor, o TriAuto ZX II, possui melhorias em relação ao anterior, entretanto, poucos estudos foram realizados com o intuito de avaliar a confiabilidade desse dispositivo (BERNARDES *et al.*, 2021; KLEMZ *et al.*, 2021).

Recentemente, dois equipamentos foram lançados no mercado. O motor iRoot Pro (Bassi Equipamentos Odontológicos, Belo Horizonte, Brasil), que possui a função híbrida, ou seja, a função de peça de mão com a função de LAE integrados. O motor iRoot Pro tem a função de reverso automático, fazendo com que o sentido seja alterado quando o instrumento atinge o limite apical pretendido. O equipamento não possui fio, apresenta seis ajustes de ângulos disponíveis e a função de modo reciprocante.

Outro equipamento disponível no mercado é o E-Connect S (MK Life Produtos Médicos e Odontológicos, Porto Alegre, Brasil). Esse também é sem fio e apresenta as funções rotatória e reciprocante, com programação de ângulo de 10 em 10 graus. Ele praticamente tem todas as características semelhantes as do iRoot Pro.

Até o momento, não existem trabalhos na literatura sobre esses dois últimos dispositivos, portanto, o objetivo dessa pesquisa foi avaliar *ex vivo* a precisão das funções LAE e ARA dos aparelhos endodônticos integrados TriAuto ZX II, iRoot Pro, E-Connect S e Root ZX II.

2 OBJETIVOS E HIPÓTESES

2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar, *ex vivo*, a precisão das funções LAE e ARA dos aparelhos endodônticos integrados TriAuto ZX II, iRoot Pro, E-Connect S e Root ZX II.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Comparar a precisão da função LAE dos localizadores dos aparelhos TriAuto ZX II, iRoot Pro, E-Connect S e Root ZX II em relação à detecção da abertura foraminal;
- Comparar a precisão da função ARA dos localizadores dos aparelhos TriAuto ZX II, iRoot Pro, E-Connect S e Root ZX II em relação ao reverso automático na marcação “0.5” do display.

2.3 HIPÓTESES NULAS

- (1) Não há diferença entre os diferentes dispositivos testados na função LAE em determinar com precisão o comprimento do dente.
- (2) Não há diferença entre os diferentes dispositivos testados na função ARA em determinar e manter com precisão o comprimento de trabalho.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta pesquisa, a metodologia foi realizada em duas etapas: uma teórica, por meio do levantamento bibliográfico em artigos científicos, periódicos, revistas odontológicas, dissertações entre outras publicações sobre o tema; e outra laboratorial.

A etapa laboratorial foi realizada nos laboratórios das dependências do Departamento de Odontologia no Centro de Ciências da Saúde da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

O projeto foi previamente submetido e aprovado pelo Comitê de Ética em Pesquisa com Seres Humanos da UFSC, bem como à Comissão de Avaliação de Projetos de Pesquisa da Secretaria de Saúde do município de Florianópolis, antes do seu desenvolvimento (ANEXO 1). Todos os dentes utilizados foram obtidos de pacientes adultos (acima de 18 anos) submetidos a extração dentária, por motivos alheios a esta pesquisa, nas Unidades Básicas de Saúde do município. Esses pacientes foram convidados a participar do estudo e receberam o Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) e de Cessão, para leitura e precisaram assiná-lo, no qual uma via ficou retida com o pesquisador e outra com o participante da pesquisa. O anonimato dos participantes foi garantido a fim de promover a manutenção dos cuidados éticos da pesquisa. Todos os riscos e benefícios desse estudo foram devidamente citados no TCLE para um melhor entendimento dos participantes.

3.1 SELEÇÃO DA AMOSTRA

O tamanho da amostra foi calculado com o auxílio do software G*Power versão 3.1.9.6 (<http://www.psych.uni-duesseldorf.de/abteilungen/aap/gpower3/>) e baseado em estudos prévios sobre o tema (CRUZ, 2017), para desfecho binário e equivalente, a fim de se atingir diferença estatisticamente efetiva de 5% (nível de significância = 0,05), com poder de teste de 80%. Obteve-se, dessa maneira, uma amostra ideal de 13 dentes por grupo.

Foram utilizados 52 caninos unirradiculados, extraídos de humanos por razões diversas, alheias a este trabalho. A fim de confirmar a presença de apenas um canal, reto ($< 5^\circ$) (SCHNEIDER, 1971), ausência de lesões de cárie, calcificações e raiz

totalmente desenvolvida, os dentes foram radiografados nos sentidos méso-distal (MD) e vestibulo-lingual (VL). Após, os dentes pré-selecionados foram examinados cuidadosamente com o auxílio de lupa estereoscópica sob aumento de 10X (Illuminated magnifying glass, Tóquio, Japão). Os dentes que apresentaram reabsorções, canais laterais, fissuras e trincas foram excluídos do estudo. Após serem limpos com curetas periodontais (SM 17/18, Hu-Friedy, Rio de Janeiro, RJ, Brasil), os dentes foram mantidos em solução contendo timol a 0,1% diluído em soro fisiológico 0,9% (pH=7) até o início do experimento, a fim de evitar desidratação.

3.2 PREPARO DOS ESPÉCIMES

Os 52 dentes foram distribuídos aleatoriamente (www.random.org) em 4 grupos (n=13) de acordo com o dispositivo utilizado na odontometria: G_{tri} - TriAuto ZX II (J Morita, Tóquio, Japão); G_{eco} - E-Connect S (MK Life Produtos Médicos e Odontológicos, Porto Alegre, Brasil); G_{iro} - iRoot Pro (Bassi Equipamentos Odontológicos, Belo Horizonte, MG, Brasil) e G_{roo} - Root ZX II (J Morita, Tóquio, Japão).

Com o objetivo de facilitar o acesso aos canais radiculares e adquirir uma superfície plana, os dentes tiveram suas coroas seccionadas por um disco diamantado de dupla-face (Brasseler Dental Products, Savannah, Ga, EUA) sob refrigeração com spray ar/água na junção esmalte-cimento. O acesso endodôntico foi refinado com pontas diamantadas (n. 3080 e 3081, KG Sorensen, SP, Brazil). Uma lima Flexofile #10 (Dentsply Maillefer, Tulsa, OK, EUA) foi utilizada para confirmar a patência de todo trajeto do canal radicular até o forame apical.

O preparo dos terços cervical e médio dos canais foi realizado com os instrumentos ProTaper Universal SX e S1 (Dentsply Sirona; Ballaigues, Suíça), respectivamente, em movimento rotatório e constante irrigação com solução de hipoclorito de sódio (NaOCl) a 2,5% (Fórmula e Ação, São Paulo, SP, Brasil).

Em seguida, foi realizada uma odontometria pelo método visual direto, onde uma lima tipo K #10 foi inserida nos canais até a visualização de sua ponta na borda mais cervical da abertura foraminal, sob magnificação de 100x através de um estereomicroscópio (SteREO Discovery V12, Carl Zeiss, Oberkochen, Germany). Nesse momento, o cursor de borracha foi ajustado ao bordo de referência cervical e a distância entre a ponta da lima e o cursor de borracha foi medida com um paquímetro

digital (Clockwise Tools Inc, Valencia, CA) com precisão de 0,01 mm. Esse comprimento foi definido como o comprimento real pré-operatório (CR1) (Tabela 1).

Tabela 1. Comprimento real pré-operatório (CR1), em milímetros, dos espécimes de cada grupo (n=13).

	G_{tri}	G_{eco}	G_{iro}	G_{roo}
1	17,22	17,64	18,76	18,05
2	17,64	17,92	17,69	17,40
3	18,24	18,68	16,51	17,27
4	15,34	18,36	19,04	17,50
5	18,83	18,84	17,60	17,47
6	18,21	16,58	18,37	18,11
7	17,66	17,44	18,67	17,64
8	18,01	16,98	17,96	17,21
9	17,91	17,27	15,98	17,56
10	17,88	17,75	18,55	19,27
11	16,96	18,28	18,30	17,45
12	15,54	17,86	18,76	17,99
13	17,97	17,31	16,05	17,20

3.3 METODOLOGIA DA ANÁLISE (FUNÇÃO LAE)

Os dentes foram inclusos em moldes de alginato (Dentsply Sirona; Ballaigues, Suíça) para simular os tecidos periodontais e permitir a mensuração eletrônica com os LAEs (BALDI *et al.*, 2007). Os canais foram irrigados com NaOCl a 2,5% (Fórmula e Ação, São Paulo, SP, Brasil) e, removendo o excesso, foram mantidos úmidos para realizar a medição eletrônica. Para medir o CD usando os LAEs, foi usada uma lima tipo K #10 passando pelo forame e recuando até a estabilização do status "ZERO" ou "APEX" visto no visor de cada dispositivo. As medidas foram consideradas válidas se a leitura permanecesse estável por pelo menos 10 segundos.

Com a leitura estável, o cursor de borracha foi cuidadosamente ajustado ao bordo de referência cervical da raiz. A distância entre a ponta da lima e o cursor de borracha foi medida com paquímetro digital e esse comprimento foi definido como o comprimento eletrônico do canal radicular (CE) (Tabela 2).

Para avaliar a precisão da função LAE foi calculada a diferença média (desvio-padrão), em milímetros, entre o comprimento eletrônico (CE) e o comprimento real pré-operatório (CR1).

Tabela 2. Comprimento eletrônico (CE), em milímetros, dos espécimes de cada grupo (n=13).

	G_{tri}	G_{eco}	G_{iro}	G_{roo}
1	18,01	17,06	18,32	17,83
2	17,28	16,71	17,31	17,13
3	17,87	17,81	15,97	17,05
4	16,38	16,31	18,87	17,74
5	18,56	18,58	17,13	17,64
6	17,90	16,23	17,11	17,98
7	17,15	17,00	18,22	17,05
8	17,55	16,26	16,98	17,24
9	17,89	16,45	15,99	17,55
10	17,74	17,26	17,80	19,24
11	16,44	17,46	18,01	17,42
12	15,02	16,94	17,43	17,84
13	17,43	17,13	15,70	17,18

3.4 METODOLOGIA DA ANÁLISE (FUNÇÃO ARA)

A metodologia de análise dessa função foi baseada em estudo realizado previamente (KLEMZ *et al.*, 2020).

Então, após a seleção da marcação “0.5” no display dos aparelhos, o sistema ProTaper Universal (Dentsply Maillefer) foi utilizado de acordo com as recomendações do fabricante até o instrumento F3. Os instrumentos foram utilizados até que a função “Auto Reverso Apical” dos dispositivos revertesse o sentido do movimento rotatório, indicando o término do preparo. A patência foi verificada através da inserção de uma lima tipo K #10, após a utilização de cada instrumento e a irrigação final foi realizada com EDTA a 17% (Biodinâmica, Ibiporã, Brasil) por 3 minutos, seguida de NaOCl a 2,5% também por 3 minutos. O instrumento F3 foi introduzido manualmente no interior do canal até o limite apical do preparo e o cursor de borracha cuidadosamente

ajustado ao bordo de referência. A distância entre a ponta do instrumento e o cursor de borracha foi definida como comprimento de trabalho (CT).

A seguir, os espécimes foram removidos do alginato, lavados em soro fisiológico e levados novamente ao estereomicroscópio. Uma lima tipo K #10 foi introduzida até sua ponta ser visualizada na borda mais cervical da abertura foraminal para obtenção do comprimento real pós-operatório (CR2), como descrito acima.

Todas as medidas visuais foram realizadas por um único operador treinado, calibrado e cego em relação aos grupos.

Para avaliar a precisão da função ARA foi calculada a diferença média (desvio-padrão), em milímetros, entre o comprimento de trabalho (CT) e o comprimento real pós-operatório (CR2).

3.5 ANÁLISE ESTATÍSTICA

A normalidade dos dados foi verificada pelo teste de Kolmogorov-Smirnov e a homocedasticidade pelo teste de Levene ($p > 0,05$). A análise de variância unidirecional (*one-way* ANOVA) e o teste *post-hoc* de Tukey foram aplicados para comparar o desempenho dos diferentes equipamentos na análise da acurácia da função LAE (teste de Levene, $p > 0,05$). Os testes de *Brown-Forsythe* e *post-hoc* de Tukey foram aplicados para avaliar a precisão da função ARA (teste de Levene, $p < 0,05$) entre os diferentes dispositivos. Os dados foram estatisticamente analisados com o auxílio do *software Statistical Package for Social Sciences* (SPSS for Windows, versão 21.0, SPSS Inc. Chicago, IL, EUA). O nível de significância adotado foi de 5%.

4 RESULTADOS

A Tabela 3 mostra o desempenho dos diferentes dispositivos testados na mensuração eletrônica (função LAE) do comprimento dos canais radiculares. Nessa função foi considerada a diferença média (desvio-padrão), em milímetros, entre CE e CR1. Os dados foram submetidos ao teste estatístico de análise de variância (*one-way ANOVA*), que mostrou haver diferença significativa entre os grupos ($p < 0,05$). O Root ZX II apresentou a menor diferença média dos dispositivos, sendo estatisticamente diferente dos demais, com exceção do Tri Auto ZX II (*Tukey HSD*, $p > 0,05$). O TriAuto ZX II foi semelhante ao iRoot Pro (*Tukey HSD*, $p > 0,05$) e este último apresentou diferença média similar a do E Connect-S (*Tukey HSD*, $p > 0,05$).

Tabela 3. Diferença média (desvio-padrão), em milímetros, entre o comprimento eletrônico (CE) e o comprimento real pré-operatório (CR1) obtidos através da função LAE dos diferentes dispositivos.

	LAE*
G_{roo}	-0,09 (0,21) ^A
G_{eco}	-0,75 (0,49) ^B
G_{iro}	-0,57 (0,40) ^{BC}
G_{tri}	-0,17 (0,51) ^{AC}

*one-way ANOVA e Tukey HSD post-hoc. Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatisticamente significativa dentro da mesma coluna ($p < 0,05$).

A Tabela 4 apresenta a comparação da posição da ativação da função ARA em relação a abertura foraminal, onde a diferença média em milímetros foi obtida entre o CT e o CR2. O teste de *Brown-Forsythe* mostrou haver diferença estatística entre os grupos ($p < 0,05$). Os dispositivos Root ZX II, iRoot Pro e o TriAuto ZX II apresentaram valor médio negativo, apontando que, de maneira geral, os dispositivos ativaram a função ARA aquém da posição do forame, sem diferença estatística entre si (*Tukey HSD*, $p > 0,05$). O iRoot Pro obteve desempenho estatisticamente semelhante ao E-

Connect-S (*Tukey HSD*, $p > 0,05$), único dispositivo com valor médio positivo. A presença do valor positivo representou que o sentido do movimento de rotação só foi revertido após o instrumento ultrapassar a abertura foraminal.

Tabela 4. Diferença média (desvio-padrão), em milímetros, entre o comprimento de trabalho (CT) e o comprimento real pós-operatório (CR2) obtidos através da função ARA dos diferentes dispositivos.

	ARA**
G_{roo}	-0,51 (0,27) ^A
G_{eco}	0,21 (0,67) ^B
G_{iro}	-0,19 (0,27) ^{AB}
G_{tri}	-0,47 (0,32) ^A

**Brown-Forsythe e Tukey HSD post-hoc.

Letras maiúsculas diferentes indicam diferença estatisticamente significativa dentro da mesma coluna ($p < 0,05$).

A Tabela 5 mostra o número e as porcentagens das diferenças entre o CT e o CR2 dos 4 dispositivos testados (função ARA).

Tabela 5. Distribuição e porcentagem das diferenças entre o comprimento de trabalho (CT) e comprimento real pós-operatório (CR2) obtidos pelos diferentes dispositivos.

<i>CT-CR2 (mm)</i>	G_{tri}		G_{eco}		G_{iro}		G_{roo}	
	nº	%	nº	%	nº	%	nº	%
-1,0 à -1,5	1	7,69	1	7,69	0	0	1	7,69
-0,5 à -1,0	4	30,76	2	15,38	1	7,69	7	53,84
0 à -0,5	8	61,53	5	38,46	9	69,23	5	38,46
>0	0	0	5	38,46	3	23,07	0	0

Valores negativos indicam posição aquém (ou coronal) em relação ao comprimento real pós-operatório. Valores positivos indicam posição além da abertura foraminal.

5 DISCUSSÃO

A combinação de LAEs à motores endodônticos surgiu com a intenção de se obter a precisão dos localizadores convencionais durante o preparo do canal. (GRIMBERG, 2002; ALVES, 2005). Estudos comparativos avaliaram que as funções de manutenção do limite apical (ARA) desses dispositivos, podem não funcionar da mesma maneira quando utilizadas separadamente ou integradas (CRUZ *et al.*, 2017).

Portanto, o objetivo do presente estudo *ex vivo* foi avaliar a acurácia das funções de mensuração LAE e ARA dos motores endodônticos TriAuto ZXII, E-Connect S, iRoot Pro e Root ZX II, enquanto estes estavam em funcionamento.

Para simular a presença de ligamento periodontal, as raízes foram montadas em moldes de alginato, manipulado de acordo com as recomendações do fabricante. O alginato é sabidamente eletro condutor e, pela sua consistência coloidal, se adapta de maneira excelente no entorno da raiz, simulando condições *in vivo*, garantindo maior confiabilidade ao estudo (BALDI *et al.*, 2007; IPARRAGUIRRE NUÑOVERO *et al.*, 2021).

O pré-alargamento cervical (*preflaring*) e a patência do canal radicular foram realizados previamente à etapa de mensuração utilizando os LAEs, criando um canal contínuo e livre de interferências até a região apical. A aferição do CT realizada sem qualquer tipo de preparo cervical, aumenta a possibilidade de se superestimar essa medida, levando à erros como sobreinstrumentação e sobreobturação, além de afetar o desempenho do LAEs (VASCONCELOS *et al.*, 2016).

Para a localização da constrição apical, foi utilizada a marcação “0.5” do *display* dos aparelhos, seguindo as recomendações dos fabricantes das marcas testadas. No entanto, deve-se atentar ao fato de que a posição da constrição é altamente variável e pode ser alterada durante a etapa de instrumentação (SCHELL *et al.*, 2017; TOPUZ *et al.*, 2008). Desse modo, o forame apical foi utilizado como uma referência constante para a mensuração do comprimento eletrônico.

As medidas obtidas na etapa de mensuração com os LAEs (CE) foram comparadas com as medidas visuais (CR1), sendo essas últimas mensuradas com paquímetro digital sob magnificação do estereomicroscópio para obter valores fidedignos. Os resultados obtidos mostraram que, apesar de nenhum grupo apresentar diferença média superior a 0,75 mm entre CE e CR1, houve diferença

estatisticamente significativa entre os diferentes aparelhos testados. Diante disso, a primeira hipótese nula foi rejeitada.

Cruz *et al.* (2017) também obtiveram resultados semelhantes aos do presente estudo. Os localizadores Root ZX II e TriAuto ZX II apresentaram os menores valores de diferença entre CE e CR1, e sem diferença estatística entre si. Recentemente, Bernardes *et al.* (2021) avaliaram clinicamente a precisão do TriAuto ZX II comparando-o com o localizador Root ZX II, obtendo como resultado que não houve diferença estatística entre os aparelhos na determinação do comprimento de trabalho, considerada na marca "0,0". Os autores concluíram que a função ARA do TriAuto ZX II reproduz com precisão a função LAE do Root ZX II.

No presente estudo, o TriAuto ZX II foi estatisticamente semelhante iRoot Pro. Embora a literatura seja escassa sobre a precisão do iRoot Pro, os resultados obtidos corroboram com estudos *in vitro* e *in vivo* que compararam alguns LAEs novos com os já consolidados na literatura (PIASECKI, 2018; ABDELSALAM; HASHEM, 2020).

O aparelho E-Connect S apresentou uma diferença média de 0,75 mm entre o comprimento eletrônico e o comprimento visual direto, o maior valor dentre os aparelhos testados no presente estudo. Ainda assim, é importante ressaltar que alguns autores trazem o intervalo de 0,0 a 1,0 mm aquém do forame apical como um intervalo aceitável para procedimentos endodônticos (FADEL *et al.*, 2012; JAKOBSON *et al.*, 2008). Ainda que não localize a posição exata da constrição apical, mas com o CT dentro desse intervalo, garante que todos os procedimentos subsequentes à etapa de mensuração sejam realizados dentro das paredes do canal, evitando danos aos tecidos perirradiculares (RICUCCI, 1998; WU; WESSELINK; WALTON, 2000; PIASECKI *et al.*, 2011).

A aferição do CT é comumente feita após a etapa do preparo cervical, utilizando localizador apical, instrumento endodôntico, cursores de borracha e régua endodôntica. É importante lembrar que essa aferição visual é passível de alguns erros e limitações, como identificação imprecisa do comprimento, movimentação do cursor de borracha no instrumento, erro do operador em relação ao bordo de referência e falta de paralelismo entre o instrumento e a régua (ELAYOUTI; LOST, 2006).

Uma vez que o CT pode ser alterado durante as diferentes etapas do preparo químico-mecânico do canal (VASCONCELOS *et al.*, 2016), a integração de LAEs aos motores endodônticos surgiu para dispensar a necessidade de calibração de limas e

permitir o controle do CT em qualquer etapa do procedimento endodôntico, minimizando os erros da aferição visual (ALTENBURGER *et al.*, 2009).

A maioria dos motores integrados possuem funções de controle do limite apical, parando ou revertendo o sentido do movimento de rotação da lima quando a sua ponta atinge o limite apical previamente estabelecido pelo profissional (VASCONCELOS *et al.*, 2015; CRUZ *et al.*, 2017; KLEMZ *et al.*, 2021). Para o presente estudo, a marcação “0.5” foi selecionada no *display* de todos os aparelhos, seguindo as recomendações dos fabricantes para detecção da constrição apical.

A avaliação da posição da ativação da função ARA em relação a abertura foraminal mostrou haver diferença estatística entre os grupos, rejeitando a segunda hipótese nula. Os aparelhos Root ZX II, iRoot Pro e o TriAuto ZX II não apresentaram diferença estatística entre si. Para os aparelhos Root ZX II e TriAuto ZX II a função promoveu um limite apical aceitável (entre 0,0 e 1,0 mm) em 92,31% dos casos e em apenas um dos espécimes de cada grupo (7,69%), o canal foi subinstrumentado, ficando em mais de 1 mm aquém da abertura foraminal. Nesses casos, a desinfecção do canal pode ser comprometida, pois o limite apical não permitirá a remoção completa do tecido pulpar, de debris, microrganismos ou ambos. Essa baixa incidência de subinstrumentação está de acordo com estudos prévios que utilizaram EALs e seguiram os mesmos princípios de funcionamento (FELIPPE *et al.*, 2008; SIU *et al.*, 2008; FADEL *et al.*, 2012).

O iRoot Pro apresentou três casos (23,07%) de sobreinstrumentação e nenhum caso de subinstrumentação (Tabela 5). Entretanto, quando analisado a diferença média entre o CT e CR2, o iRoot Pro não diferiu estatisticamente dos demais dispositivos (Tabela 4).

Já o motor E-Connect S, foi o único que apresentou diferença média positiva (0,21), apresentando sobreinstrumentação em 38,46% dos casos, e apenas um espécime subinstrumentado, de acordo com os critérios do estudo. O valor médio positivo representou, de maneira geral, que a mudança no sentido do movimento rotatório só foi obtida após o instrumento ultrapassar a abertura foraminal. Baseando-se nos resultados obtidos (Tabelas 4 e 5), a função ARA do E-Connect S, não foi acurada o suficiente para identificar o limite apical de trabalho pré-estabelecido, portanto, o profissional precisa estar ciente do CT para controlar o nível apical do preparo do canal quando estiver usando esse aparelho.

Para os casos de sobre e subinstrumentação, vale ressaltar que a utilização de LAEs combinados com instrumentos rotatórios não é tão confiável quanto a utilização de LAEs combinados com os instrumentos manuais, uma vez que o aparato necessita de algum tempo para processar a exata posição da ponta do instrumento no interior do canal e enviar um sinal para que o movimento do mesmo seja revertido (SIU *et al.*, 2009).

Como não são divulgadas pelos fabricantes todas as características e os princípios de funcionamento dos novos dispositivos, torna-se difícil a compreensão do comportamento de cada um, e a comparação dos resultados com os de outros aparelhos. Portanto, mais estudos precisam ser realizados para identificar as possíveis limitações das funções LAE e ARA dos motores iRoot Pro e E-Connect S.

6 CONCLUSÕES

Na função de Localizador Apical Eletrônico (LAE), os quatro dispositivos testados apresentaram valores dentro dos limites considerados aceitáveis, entre 0,0 e 1,0 mm aquém do forame apical. Na função de Auto Reverso Apical (ARA), os motores Root ZX II, iRoot Pro e o TriAuto ZX II, de maneira geral, reverteram o sentido de rotação do instrumento aquém da abertura foraminal, mantendo o nível apical de preparo dentro de limites considerados adequados. O motor E-Connect S não foi preciso o suficiente para controlar o limite apical de instrumentação rotatória nessa função.

REFERÊNCIAS

- ABDELSALAM, N; HASHEM, N. Impact of apical patency on accuracy of electronic apex locators: in vitro study. **Journal of endodontics**, v. 46, n. 4, p. 509-514, 2020.
- ADRIANO, L. Z.; BARASUOL, J. C.; 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 Paediatric Dentistry**, v. 20, n. 5, p. 403-8, out. 2019.
- ALTENBURGER, M. J. *et al.* Combination of apex locator and endodontic motor for continuous length control during root canal treatment. **International endodontic journal**, v. 42, n. 4, p. 368-374, 2009.
- AMERICAN ASSOCIATION OF ENDODONTISTS. Glossary of Endodontic Terms. 9th ed. Chicago. **American Association of Endodontists**. 2016.
- ALTENBURGER, M. J. *et al.* Combination of apex locator and endodontic motor for continuous length control during root canal treatment. **International endodontic journal**, v. 42, n. 4, p. 368-374, 2009.
- ALVES, A. M. H. *et al.* Ex vivo evaluation of the capacity of the Tri Auto ZX to locate the apical foramen during root canal retreatment. **International endodontic journal**, v. 38, n. 10, p. 718-724, 2005.
- ANELE, J. A *et al.* Análise ex vivo da influência do preparo cervical na determinação do comprimento de trabalho por três diferentes localizadores apicais eletrônicos. **RSBO Revista Sul-Brasileira de Odontologia**, v. 7, n. 2, p. 139-145, 2010.
- BALDI, J V. *et al.* Influence of embedding media on the assessment of electronic apex locators. **Journal of endodontics**, v. 33, n. 4, p. 476-479, 2007.
- BERNARDES, R. A. *et al.* Clinical reproducibility of Tri Auto ZX2 dedicated motor and electronic foraminal locator in determining root canal working length. **Giornale Italiano di Endodonzia**, v. 35, n. 1, 2021.
- BRAMANTE, C. M.; BERBERT, A. A critical evaluation of some methods of determining tooth length. **Oral Surgery, Oral Medicine and Oral Pathology**, v. 37, n. 3, p. 463-73, mar. 1974.
- BREGMAN, R. C. A mathematical method of determining the length of a tooth for root canal treatment and filling. **Journal of the Canadian Dental Association**, v. 16, n. 6, p. 305-306, 1950.
- BROON, N. J.; PALAFOX-SANCHEZ, C. A.; ESTRELA, C.; CAMARENA, D. C. S. *et al.* Analysis of Electronic Apex Locators in Human Teeth Diagnosed With Apical Periodontitis. **Brazilian Dental Journal**, v. 30, n. 6, p. 550-4, nov. 2019.

CALDWELL, J L. Change in working length following instrumentation of molar canals. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology**, v. 41, n. 1, p. 114-118, 1976.

CARNEIRO, E *et al.* Accuracy of root length determination using Tri Auto ZX and ProTaper instruments: an in vitro study. **Journal of endodontics**, v. 32, n. 2, p. 142-144, 2006.

CHUGAL, N. M.; CLIVE, J. M.; SPANGBERG, L. S. Endodontic infection: some biologic and treatment factors associated with outcome. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology**, v. 96, n. 1, p. 81-90, jul. 2003.

COX, V. S.; BROWN, C. E., JR.; BRICKER, S. L.; NEWTON, C. W. Radiographic interpretation of endodontic file length. **Oral Surgery, Oral Medicine and Oral Pathology**, v. 72, n. 3, p. 340-44, set. 1991.

CRUZ, A. T. G. *et al.* Accuracy of 2 endodontic rotary motors with integrated apex locator. **Journal of Endodontics**, v. 43, n. 10, p. 1716-1719, 2017.

CZERW, R. J.; FULKERSON, M. S.; DONNELLY, J. C. An in vitro test of a simplified model to demonstrate the operation of electronic root canal measuring devices. **Journal of Endodontics**, v. 20, n. 12, p. 605-6, Dec 1994.

DE CAMARGO, E J *et al.* Influence of preflaring on the accuracy of length determination with four electronic apex locators. **Journal of Endodontics**, v. 35, n. 9, p. 1300-1302, 2009.

D'ASSUNCAO, F. L.; DE ALBUQUERQUE, D. S.; SALAZAR-SILVA, J. R.; DE QUEIROZ FERREIRA, L. C. *et al.* The accuracy of root canal measurements using the Mini Apex Locator and Root ZX-II: an evaluation in vitro. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology**, v. 104, n. 3, p. 50-3, set. 2007.

ELAYOUTI, A.; LÖST, C. A simple mounting model for consistent determination of the accuracy and repeatability of apex locators. **International endodontic journal**, v. 39, n. 2, p. 108-112, 2006.

FADEL, G. *et al.* An in vivo evaluation of the auto apical reverse function of the Root ZX II. **International endodontic journal**, v. 45, n. 10, p. 950-954, 2012.

FARBER, J P.; BERNSTEIN, M. The effect of instrumentation on root canal length as measured with an electronic device. **Journal of endodontics**, v. 9, n. 3, p. 114-115, 1983.

FELIPPE, W. T. *et al.* Ex vivo evaluation of the ability of the ROOT ZX II to locate the apical foramen and to control the apical extent of rotary canal instrumentation. **International endodontic journal**, v. 41, n. 6, p. 502-507, 2008.

FERREIRA, C M; FRÖNER, I C; BERNARDINELI, N. Utilização de duas técnicas alternativas para localização do forame apical em endodontia: avaliação clínica e

radiográfica. **Revista de Odontologia da Universidade de São Paulo**, v. 12, n. 3, p. 241-246, 1998.

GORDON, M. P.; CHANDLER, N. P. Electronic apex locators. **International Endodontic Journal**, v. 37, n. 7, p. 425-37, jul. 2004.

GRIMBERG, F. *et al.* In vivo determination of root canal length: a preliminary report using the Tri Auto ZX apex-locating handpiece. **International Endodontic Journal**, v. 35, n. 7, p. 590-593, 2002.

INGLE, J.I. Endodontic instruments and instrumentation. **Dental Clinics of North America**, p.805-822, nov. 1957.

IPARRAGUIRRE NUÑOVERO, M. F. *et al.* A laboratory study of the accuracy of three electronic apex locators: influence of embedding media and radiographic assessment of the electronic apical limit. **International Endodontic Journal**, 2021.

J MORITA CORP. **Root ZX II OTR Module operation instructions**. Kyoto, Japan, 2018.

JAKOBSON, S J M *et al.* The accuracy in the control of the apical extent of rotary canal instrumentation using Root ZX II and ProTaper instruments: an in vivo study. **Journal of endodontics**, v. 34, n. 11, p. 1342-1345, 2008.

KATZ, A., MASS, E., KAUFMAN, A. Y. Eletronic apex locator: a review. **Oral Surgery Oral Medicine Oral Pathology Oral Radiology and Endodontics**, v.72,n.2, p.238-242, 1991.

KHANDEWAL, D.; BALLAL, N. V.; SARASWATHI, M. V. Comparative evaluation of accuracy of 2 electronic Apex locators with conventional radiography: an ex vivo study. **Journal of Endodontics**, v. 41, n. 2, p. 201-4, fev. 2015.

KIM, E.; LEE, S. J. Electronic apex locator. **Dental Clinics of North America**, v. 48, n.1, p.35-54, jan. 2004.

KLEMZ, A A *et al.* Accuracy of electronic apical functions of a new integrated motor compared to the visual control of the working length—an ex vivo study. **Clinical Oral Investigations**, v. 25, p. 231-236, 2021.

MARTINS, J N R *et al.* Clinical efficacy of electronic apex locators: systematic review. **Journal of endodontics**, v. 40, n. 6, p. 759-777, 2014.

PIASECKI, L *et al.* Accuracy of Root ZX II in locating foramen in teeth with apical periodontitis: an in vivo study. **Journal of endodontics**, v. 37, n. 9, p. 1213-1216, 2011.

PIASECKI, L *et al.* The use of micro-computed tomography to determine the accuracy of 2 electronic apex locators and anatomic variations affecting their precision. **Journal of endodontics**, v. 42, n. 8, p. 1263-1267, 2016.

PIASECKI, L. A micro-computed tomographic evaluation of the accuracy of 3 electronic apex locators in curved canals of mandibular molars. **Journal of endodontics**, v. 44, n. 12, p. 1872-1877, 2018.

PLOTINO, G. *et al.* Ex vivo accuracy of three electronic apex locators: Root ZX, Elements Diagnostic Unit and Apex Locator and ProPex. **International endodontic journal**, v. 39, n. 5, p. 408-414, 2006.

RICUCCI, D. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 1. Literature review. **International Endodontic Journal**, v. 31, n. 6, p. 384-393, 1998.

RICUCCI, D.; LANGELAND, K. Apical limit of root-canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study. **International endodontic journal**, v. 31, n. 6, p. 394-409, 1998.

SCARPARO, R K; NEUVALD, L R. Avaliação dos métodos radiográfico e eletrônico para determinação do comprimento real de trabalho em endodontia—estudo in vivo. **Revista da Faculdade de Odontologia-UPF**, v. 11, n. 2, 2006.

SCHELL, S. *et al.* Validity of longitudinal sections for determining the apical constriction. **International endodontic journal**, v. 50, n. 7, p. 706-712, 2017.

SIMON, S *et al.* Apical limit and working length in endodontics. **Dental update**, v. 36, n. 3, p. 146-153, 2009.

SIU, C; MARSHALL, J. G; BAUMGARTNER, J. C. An in vivo comparison of the Root ZX II, the Apex NRG XFR, and Mini Apex Locator by using rotary nickel-titanium files. **Journal of endodontics**, v. 35, n. 7, p. 962-965, 2009.

SJOGREN, U.; HAGGLUND, B.; SUNDQVIST, G.; WING, K. Factors affecting the long-term results of endodontic treatment. **Journal of Endodontics**, v. 16, n. 10, p. 498-504, out. 1990.

STABHOLZ, A; ROTSTEIN, I; TORABINEJAD, M. Effect of preflaring on tactile detection of the apical constriction. **Journal of endodontics**, v. 21, n. 2, p. 92-94, 1995.

STOBER, E. K.; DURAN-SINDREU, F.; MERCADE, M.; VERA, J. *et al.* An evaluation of root ZX and iPex apex locators: an in vivo study. **Journal of Endodontics**, v. 37, n. 5, p. 608-10, maio 2011.

SUNADA I. New method for measuring the length of the root canal. **Journal of Dental Research**, v. 41, n. 2, p. 375-87, mar. 1962.

TAMSE, A.; KAFFE, I.; FISHEL, D. Zygomatic arch interference with correct radiographic diagnosis in maxillary molar endodontics. **Oral Surgery, Oral Medicine and Oral Pathology**, v. 50, n. 6, p. 563-6, dez. 1980.

TOPUZ, Ö *et al.* Accuracy of the apex locating function of TCM Endo V in simulated conditions: a comparison study. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology**, v. 103, n. 3, p. e73-e76, 2007.

TOPUZ, Ö *et al.* Accuracy of two apex-locating handpieces in detecting simulated vertical and horizontal root fractures. **Journal of endodontics**, v. 34, n. 3, p. 310-313, 2008.

VANDE VOORDE, H. E.; BJORND AHL, A. M. Estimating endodontic "working length" with paralleling radiographs. **Oral Surgery, Oral Medicine and Oral Pathology**, v. 27, n. 1, p. 106-10, jan. 1969.

VASCONCELOS, B. C *et al.* Evaluation of the maintenance of the apical limit during instrumentation with hybrid equipment in rotary and reciprocating modes. **Journal of endodontics**, v. 41, n. 5, p. 682-685, 2015.

VASCONCELOS, B. C; BASTOS, L. M.; OLIVEIRA, A. S.; BERNARDES, R. A. *et al.* Changes in Root Canal Length Determined during Mechanical Preparation Stages and Their Relationship with the Accuracy of Root ZX II. **Journal of Endodontics**, v. 42, n. 11, p. 1683-6, nov. 2016.

WU, MK; WESSELINK, PR.; WALTON, RE. Apical terminus location of root canal treatment procedures. **Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, and Endodontology**, v. 89, n. 1, p. 99-103, 2000.

ZMENER, O. *et al.* Detection and measurement of endodontic root perforations using a newly designed apex-locating handpiece. **Dental Traumatology**, v. 15, n. 4, p. 182-185, 1999.

APÊNDICE I: ARTIGO CIENTÍFICO*

Cover Sheet

Title: Accuracy of the measurement functions of electronic apex locators integrated with new endodontic motors

Short title: Accuracy of motors with apex locator

Author: Matheus Pompeo Caldas Silveira¹

¹Postgraduate Program in Dentistry, Federal University of Santa Catarina

* Scientific article prepared in accordance with the guidelines for submission to the Brazilian Dental Journal (Qualis A2 / Impact Factor 1.69).

Title: Accuracy of the measurement functions of electronic apex locators integrated with new endodontic motors

Short title: Accuracy of motors with apex locator

Summary

The present study evaluated *ex vivo* the Electronic Apical Locator (EAL) and Auto Apical Reverse (AAR) functions of motors with built-in apex locator. Fifty-two extracted human canines were distributed into 4 groups (n=13) according to the device used: TriAuto ZX II (J Morita); E-Connect S (MKLife); iRoot Pro (Bassi) and Root ZX II (JMorita). The actual lengths of the canals were measured using the visual method before (AL1) and after root canal preparation (AL2). Teeth were embedded in alginate. Electronic measurements using the 0.0 mark of the EAL function were recorded (EL1), followed by root canal preparation using ProTaper rotary files and the AAR function set at 0.5 mark. After preparation, F3 instrument was manually introduced up to the apical limit, to obtain the working length (EL2). The difference between the electronic and actual lengths were calculated. Data were statistically analyzed with 5% significance (ANOVA, Brown-Forsythe, Tukey HSD). Root ZX II resulted in the smallest mean difference for the EAL measurements, being statistically different from the other devices, except TriAuto ZX II. For the AAR function, all devices resulted in mean measurements short to the apical foramen, except for E-Connect S . All devices tested were considered accurate to locate the apical foramen using the EAL function set at 0.0 mark. For the AAR function, only Root ZX II and TriAuto ZX II were able to maintain the apical level of preparation within the limits of the canal.

Keywords: working length, electronic apical locator, odontometry.

Introduction

The correct determination of the working length (WL) is a fundamental step of the endodontic treatment (1, 2). The WL directly influence the subsequent stages of the treatment, such as the chemomechanical preparation and root canal filling (1, 2). Failures in measuring the WL negatively affect the prognosis of the treatment, hindering the periradicular tissues repair (3).

The WL is claimed as the distance from a coronal reference point, adopted by the professional, to the limit at which the preparation and root canal filling should end (4). A few years ago, the WL was determined exclusively by radiographic examination (5). However, the limitations of the radiographic method and the technological evolution led to the development of the electronic apex locators (EALs) (5). Currently, the use of EALs is the method of choice for the WL determination (6).

It is consolidated in the literature that the WL may change during the chemomechanical preparation (7, 8). The action of the endodontic instruments during preparation changes the shape and the original trajectory of the root canal (7, 8). For this reason, it is crucial a constant monitoring of the WL during the different steps of the root canal shaping (7, 8). Therefore, EALs have been integrated into endodontic motors and handpieces to achieve their accuracy during the root canal preparation (9-11).

In addition to the possibility of controlling the WL at any step of the endodontic treatment, these devices also have torque adjustment, different speed settings and the auto apical reverse (AAR) mode (12, 13). The AAR mode reverses the direction of the instrument's rotation movement when the previously defined WL is reached (12,13). It is important to point out that even though the AAR mode may be configured at different marking points, the manufacturer recommendation is to configure it in the "0.5" point, which corresponds to the location of the apical constriction (12). The other measurements only indicate whether the instrument tip is approaching or moving away from this point (14).

The Root ZX II (J. Morita Corp., Kyoto, Japan) is a two-frequency based device and features the rotary function, allowing the device to function as an endodontic motor, apex locator or, if necessary, a combination of both.

The TriAuto ZX (J. Morita Corp., Kyoto, Japan) is a wireless device, which combines the Root ZX apex locator and the TriAuto ZX handpiece. Its successor, the TriAuto ZX II, has improvements over the previous one (12), however; few studies have been carried out so far with the aim of evaluating the reliability and accuracy of this device (15).

Two endodontic motors with a built-in apex locator were recently released on the Brazilian market, the iRoot Pro (Bassi Equipamentos Odontológico, Belo Horizonte, MG, Brazil) and the E-Connect S (MK Life Medical and Dental Products, Porto Alegre, RS, Brazil). Both devices are hybrids, acting as a handpiece with an integrated EAL containing the AAR mode.

However, no studies so far have assessed the accuracy of these two brand new devices. Therefore, the purpose of this ex vivo study was to evaluate the accuracy of the EAL and AAR functions of the integrated endodontic motors TriAuto ZX II, iRoot Pro, E-Connect S and Root ZX II. Two null hypotheses were tested: (1) There would be no difference among the different devices seted at the EAL mode in accurately determining root canal length; (2) There would be no difference among the different devices seted at the AAR mode in accurately determining and maintaining the WL.

Material and Methods

The use of human teeth for this ex vivo experiment was previously approved by the Ethics Committee of the Federal University of Santa Catarina (no. 4.705.546). Sample size was calculated using the G*Power version 3.1.9.6 (<http://www.psych.uni-duesseldorf.de/abteilungen/aap/gpower3/>) and based on a previous study (15). Accordingly, for the analysis with $\alpha = 0.05$ and 80% testing power, fifty-two specimens (thirteen teeth per test group) were indicated as the ideal size required for observing significant differences.

Specimen Preparation

Fifty-two freshly extracted human canine teeth, with a single and straight canal and fully formed roots were selected for the study. Radiographs were taken in both mesiodistal and buccolingual directions to confirm the presence of a single canal, completed root development, absence of caries lesions and calcifications. After cleaning with ultrasonic scalers and washing in distilled water, the teeth were carefully inspected with a stereoscopic magnifying glass under 4 \times magnification (Illuminated magnifying glass, Tokyo, Japan) to exclude roots presenting cracks or lateral foramina. The teeth were stored in a 0.1 % thymol at 4°C to prevent bacterial growth, until use.

The specimens were randomly distributed (www.random.org) into 4 groups (n=13), according to the device used: G_{tri}- TriAuto ZX II (J Morita, Tóquio, Japão); G_{eco} - E-Connect S (MK Life Produtos Médicos e Odontológicos, Porto Alegre, Brasil); G_{iro} - iRoot Pro (Bassi Equipamentos Odontológicos, Belo Horizonte, MG, Brasil) e G_{roo} - Root ZX II (J Morita, Tóquio, Japão).

In order to facilitate the access to the root canals and obtain a flat surface, the teeth had their crowns sectioned at the enamel-cement junction by a double-faced diamond disc (Brasseler Dental Products, Savannah, GA, USA) under copious air/water spray cooling. A size 10 Flexofile instrument (Dentsply Sirona; Ballaigues, Switzerland) was used to negotiate the root canals and to confirm the glide path until the apical foramen.

The preparation of the cervical and middle thirds of the root canals was performed with the nickel-titanium SX and S1 instruments (ProTaper Universal Rotary

File; Dentsply Sirona; Ballaigues, Switzerland), respectively, coupled to the 6:1 contra-angle reducer, driven by VDW Silver electric motor (VDW GmbH). It was used under rotary kinematics, with light pecking movements until reaching 2/3 (preflaring) of the canal length, according to the manufacturer's instructions. Every three movements of introduction, the instrument was cleaned with gauze and the canals irrigated with 2 mL of 2.5% sodium hypochlorite (NaOCl), using a Navitip syringe and needle (30G, Ultradent, South Jordan, USA). Then, the odontometry was performed by the direct visual method, in which a size 10 K-file (Dentsply-Maillefer) was inserted into the canals until its tip became visible at the most cervical border of the apical foramen opening. This procedure was performed by using a stereomicroscope (SteREO Discovery V12, Carl Zeiss, Oberkochen, Germany) under 100× magnification. At that moment, the rubber stop was adjusted to the cervical reference edge and the distance between the tip of the file and the rubber stop was measured with a digital caliper (Clockwise Tools Inc., Valencia, CA, USA) with an accuracy of 0.01 mm. This length was defined as the actual preoperative length (RL1) (Table 1).

EAL mode analysis

The teeth were embedded in alginate (Dentsply Sirona; Ballaigues, Switzerland) molds to simulate the periodontal tissue and to allow the electronic measurement. The root canals were irrigated with 2mL of 2.5% NaOCl solution (Fórmula e Ação, São Paulo, SP, Brazil) and, after removing the solution excess, they were kept moist to perform the electronic measurement. Then, a size 10 K-file was used to go through the foramen and back to stabilization of the "ZERO" or "APEX" status seen on the display of each device. Measurements were considered valid if the reading remained stable for at least 10 seconds. With the reading stable, the rubber stop was adjusted to the cervical reference edge of the root. The distance between the file tip and the rubber stop was measured with a digital caliper (Clockwise Tools Inc.) and this length was defined as the electronic length (EL) (Table 2).

AAR mode analysis

For this analysis, the methodology was based on a study carried out previously (13). The apical constriction is located on average 0.5 mm far from the foraminal opening (16), which was considered ideal in this study for the function to be activated.

After selecting the marking point "0.5" on the device display, the ProTaper Universal system (Dentsply-Maillefer) was used according to the manufacturer's recommendations up to the instrument F3. The instruments system was used until the AAR mode of the devices reversed the movement, indicating the end of instrumentation. The patency was verified by inserting a size 10 K-file and a final irrigation was performed with 17% EDTA (Biodynamics, Ibiporã, PR, Brazil) for 3 minutes, followed by a final flush with 2.5% NaOCl solution, also for 3 minutes. Then, the F3 instrument was manually introduced into the canal up to the limit of instrumentation and the rubber stop adjusted to the reference edge. The distance between the instrument tip and the rubber stop was defined as the working length (WL). Afterwards, the size 10 K-file was introduced until its tip became visible at the most cervical border of the apical foramen opening. Then, the postoperative length (RL2) was also obtained by the direct visual method.

All visual measurements were performed by a single, trained and calibrated operator, in a blind manner.

Statistical analysis

The data normality was verified by the Kolmogorov-Smirnov test ($p > 0.05$). The one-way analysis of variance (one-way ANOVA) and the Tukey's *post-hoc* test were applied to assess the accuracy of the EAL mode (Levene test, $p > 0.05$). Brown-Forsythe and Tukey's *post-hoc* tests were applied to assess the accuracy of the AAR mode (Levene test, $p < 0.05$) among the different devices. Data were statistically analyzed using the Statistical Package for Social Sciences software (SPSS for Windows, version 21.0, SPSS Inc. Chicago, IL, USA). The significance level adopted was 5%.

Results

Table 3 presents the accuracy of the different EALs tested in the EAL mode. The mean difference, in millimeters, between EL and RL1 was considered. Data were submitted to the statistical test (one-way ANOVA), which showed significant difference among groups ($p < 0.05$). The Root ZX II had the smallest mean difference, being statistically different from the other devices, except for the Tri Auto ZX II (Tukey HSD, $p > 0.05$). The Tri Auto ZX II was similar to the iRoot Pro (Tukey HSD, $p > 0.05$), which in turn, was similar to the E Connect-S (Tukey HSD, $p > 0.05$).

Table 4 presents the comparison of the activation position of the AAR mode in relation to the apical foramen opening, where the mean difference in millimeters was obtained between the WL and RL2. The Brown-Forsythe test showed statistical difference among groups ($p < 0.05$). There was no significant difference among the Root ZX II, iRoot Pro and Tri Auto ZX II devices activated in the AAR mode below the foraminal opening (Tukey HSD, $p > 0.05$). However, the iRoot Pro presented similar performance to the E Connect-S (Tukey HSD, $p > 0.05$), which was the only device with a positive mean value. The presence of the positive value represented that the rotation movement was only reversed after the instrument overpassed the apical foramen opening.

Table 5 shows the specimens and percentages of differences between the WL and RL2 of the devices tested (AAR mode).

Discussion

The combination of LAEs and endodontic motors emerged with the intention of obtaining the precision of conventional apex locators during root canal preparation (9). Comparative studies have evaluated that the apical limit maintenance functions, like AAR, of these devices may not work in the same way when used separately or integrated (13).

Based on that the purpose of the present *ex vivo* study was to evaluate the accuracy of the EAL and AAR measurement modes of the TriAuto ZXII, E-Connect S, iRoot Pro and Root ZX II endodontic motors, while they were in operation.

In order to simulate the presence of periodontal ligament, the specimens were embedded into alginate molds, manipulated according to the manufacturer's recommendations. Alginate is known to be electroconductive and due to its colloidal consistency, it properly adapts around the root surface, simulating *in vivo* conditions and ensuring more reliability to the study (17, 18).

Cervical preflaring was performed prior to the measurement by the EALs, creating a continuous root canal, free from interferences, up to the apical region. It's consolidated that when the measurement of the WL is performed without any type of cervical preparation, the possibility of overestimating the measurement significantly increases, leading to clinical errors such, as over-instrumentation and root canal overfilling (7).

For the location of apical constriction, the 0.5 mark on the display of the devices was used, following the recommendation of all manufacturers of the tested EALs. However, it should be noted that although the position of the constriction is located 0.5 mm on average from the apical foramen (16), it is highly variable and may change during the instrumentation (19, 20). For this reason, the apical foramen opening was used as a constant reference for the measurement assessments.

The measurements obtained with the EALs were compared with the visual measurements (confirmed by stereomicroscope and a digital caliper). The results rejected the first null hypothesis and showed that, although no group had a mean difference greater than 0.75 mm between EL and RL1, there was statistically significant difference among the different devices tested.

Cruz et al. (15) also reported similar results to those of the present study. The Root ZX II and TriAuto ZX II locators showed the lowest difference values between EL and RL1, with no difference between them. Recently, Bernardes et al. (14) clinically evaluated the accuracy of the TriAuto ZX II, comparing it with the Root ZX II. There was no statistical difference between the devices in the measurement of root canals. The authors concluded that the AAR function of the TriAuto ZX II accurately replicates the EAL function of the Root ZX II.

However, in the present study, the TriAuto ZXII was statistically similar to the iRoot Pro. Despite the scarce literature regarding the accuracy of the iRoot Pro, the results obtained in this study are in agreement with *in vitro* and *in vivo* studies which tested these new EALs (21, 22).

The E-Connect S device presented a mean difference of 0.75 mm between the electronic length and the direct visual length, the highest value among the devices tested in this study. It is important to emphasize that some authors use the range from 0.0 to 1.0 mm below the apical foramen as an acceptable range for endodontic procedures (23). With the WL within this range, although not locating the exact position of the apical constriction, it ensures that all procedures subsequent to the measurement are carried out within the canal walls, preventing damage to periradicular tissues (1, 17, 23).

The measurement of the WL is commonly performed after the cervical preparation stage, using an EAL, endodontic instrument, rubber stops and endodontic ruler. It is important to remember that this visual measurement is subject to some errors and limitations, such as the imprecise identification of the length, movement of the rubber stop on the instrument, operator error in relation to the reference edge and lack of parallelism between the instrument and the ruler (24).

Since the working length may be changed during the different stages of the chemomechanical preparation of the canal (6), the integration of EALs to endodontic motors emerged to eliminate the need for file calibration and allow the control of the working length in any step of the endodontic procedure, minimizing errors in visual measurement (25).

Most integrated motors have apical limit control functions, stopping or reversing the instrument rotation movement when its tip reaches an apical limit previously

established by the professional (13, 15, 26). For the present study, the "0.5" point was selected on the display of all devices, following the manufacturers' recommendations for detection of apical constriction.

The evaluation of the position of activation of the AAR mode in relation to the apical foramen opening showed statistical difference among groups, rejecting the second null hypothesis. Root ZX II, iRoot Pro and Tri Auto ZX II motors showed no statistical difference among them. For Root ZX II and TriAuto ZX II motors, the AAR mode promoted an acceptable apical limit (from 0.0 to 1 mm) in 92.31% of cases and only one specimen (7.69%) of each group was sub-instrumented (more than 1 mm short of apical foramen opening). In these cases, the disinfection of the root canal may be compromised, as the failure in establishing a correct apical limit will not allow the complete removal of the pulp tissue, debris, microorganisms, or both. This low incidence of under-instrumentation is in agreement with previous studies (11, 27-29).

The iRoot Pro motor did not differ statistically from the others and it did not present any case of sub-instrumentation. However, it presented three cases (23.07%) of over-instrumentation. In this case, the movement was only reversed after the instrument overpassed the apical foramen opening. The E-Connect S motor was the only one that presented a positive mean value (0.21) of difference between WL and CR2. In addition, it presented sub-instrumentation in 7.69% and over-instrumentation in 38.46% of the cases.

Based on the results for the E-Connect S motor, although the handpiece is integrated with an EAL, the use of the AAR function alone was not able to identify an adequate apical limit and the professional needs to be aware of the WL to control the apical level of preparation. In cases of over and under-instrumentation, it is noteworthy that the use of EALs combined with mechanized instruments is not as reliable as the use of EAL combined with manual instruments, since the apparatus needs some time to process the exact position of the instrument tip inside the root canal and send a signal to reverse the movement (29).

As all the characteristics and operating principles of these new devices are not disclosed by the manufacturers, it is difficult to clearly comprehend their mechanical behavior and to compare the results with those of other devices. In this case, it is

suggested that further studies should be carried out to identify the possible limitations of the EAL and AAR modes of the iRoot Pro and E-Connect S motors.

Conclusions

In the EAL function, the four devices tested presented values within the limits considered acceptable, between 0.0 and 1mm short to the apical foramen. In the AAR function, Root ZX II, iRoot Pro and Tri Auto ZX II reversed the rotation of the instrument short to the apical foramen opening, keeping the apical level of preparation within limits considered adequate. The E-Connect S was not accurate to control the apical limit of rotary instrumentation when used in this function.

Resumo em português

O objetivo foi avaliar in vitro as funções Localizador Apical Eletrônico (LAE) e Auto Reverso Apical (ARA) de diferentes motores. 52 raízes foram distribuídas em 4 grupos (n=13) de acordo com a função e motor utilizados: TriAuto ZX II; E-Connect S; iRoot Pro e Root ZX II. Para avaliação de LAE, uma mensuração inicial foi realizada pelo método visual direto (CR1) e comparada com a mensuração eletrônica (CE). Para avaliação de ARA, a marcação "0.5" foi utilizada e o sistema ProTaper Universal foi utilizado até que a função revertesse o movimento. O último instrumento foi introduzido até o limite do preparo, para obtenção do comprimento de trabalho (CT). A lima #10 foi reintroduzida até o forame apical para obtenção do comprimento real pós-operatório (CR2). Na função LAE, Root ZX II obteve a menor diferença média, similar ao Tri Auto ZX II. O Tri Auto ZX II foi similar ao iRoot Pro e este foi similar ao E Connect-S. Na função ARA, Root ZX II, iRoot Pro e Tri Auto ZX II ativaram a função, em média, aquém do forame, sem diferença entre si. O iRoot Pro foi semelhante ao E-Connect S, único com valor médio positivo. Na função LAE os quatro dispositivos foram precisos. Na função ARA, Root ZX II, iRoot Pro e TriAuto ZX II mantiveram o nível apical de preparo dentro de limites adequados. O E-Connect S não foi preciso em controlar o limite apical de instrumentação rotatória nessa função.

Palavras-chave: comprimento de trabalho, localizador apical eletrônico, odontometria.

Acknowledgments

Ethical approval was obtained by the Ethics Committee of the Federal University of Santa Catarina (Florianópolis, SC, Brazil) - Protocol No. 4.705.546.

The authors declare that there is no conflict of interest.

This research did not receive any specific sponsorship from funding agencies in the following sectors: public, commercial or non-profit.

References

1. Wu MK, Wesselink PR, Walton RE. Apical terminus location of root canal treatment procedures. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2000 Jan;89(1):99-103.
2. Albino Souza M, Dalla Lana D, Gabrielli E, Barbosa Ribeiro M, Miyagaki DC, Cecchin D. Effectiveness of final decontamination protocols against *Enterococcus faecalis* and its influence on bond strength of filling material to root canal dentin. *Photodiagnosis Photodyn Ther.* 2017 Mar;17:92-97.
3. Chugal NM, Clive JM, Spångberg LS. Endodontic infection: some biologic and treatment factors associated with outcome. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2003 Jul;96(1):81-90
4. American Association of Endodontists. *Glossary of Endodontic Terms.* 2019 9th ed. Chicago. American Association of Endodontists.
5. Khandewal D, Ballal NV, Saraswathi MV. Comparative evaluation of accuracy of 2 electronic Apex locators with conventional radiography: an ex vivo study. *J Endod.* 2015 Feb;41(2):201-4.
6. Martins JN, Marques D, Mata A, Caramês J. Clinical efficacy of electronic apex locators: systematic review. *J Endod.* 2014 Jun;40(6):759-77.
7. de Camargo EJ, Zapata RO, Medeiros PL, Bramante CM, Bernardineli N, Garcia RB, de Moraes IG, Duarte MA. Influence of preflaring on the accuracy of length determination with four electronic apex locators. *J Endod.* 2009 Sep;35(9):1300-2.
8. Vasconcelos BC, Bastos LM, Oliveira AS, Bernardes RA, Duarte MA, Vivacqua-Gomes N, Vivan RR. Changes in Root Canal Length Determined during Mechanical Preparation Stages and Their Relationship with the Accuracy of Root ZX II. *J Endod.* 2016 Nov;42(11):1683-1686.
9. Alves AM, Felipe MC, Felipe WT, Rocha MJ. Ex vivo evaluation of the capacity of the Tri Auto ZX to locate the apical foramen during root canal retreatment. *Int Endod J.* 2005 Oct;38(10):718-24.

10. Felipe WT, Felipe MC, Reyes Carmona J, Crozoé FC, Alvisi BB. Ex vivo evaluation of the ability of the ROOT ZX II to locate the apical foramen and to control the apical extent of rotary canal instrumentation. *Int Endod J.* 2008 Jun;41(6):502-7.
11. 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. *Eur Arch Paediatr Dent.* 2019 Oct;20(5):403-408.
12. Broon NJ, Palafox-Sánchez CA, Estrela C, Camarena DCS, Uribe M, Ceja I, Ramos CS, Cruz A. Analysis of Electronic Apex Locators in Human Teeth Diagnosed With Apical Periodontitis. *Braz Dent J.* 2019 Nov-Dec;30(6):550-554.
13. Klemz AA, Cruz ATG, Piasecki L, Carneiro E, Westphalen VPD, da Silva Neto UX. Accuracy of electronic apical functions of a new integrated motor compared to the visual control of the working length-an ex vivo study. *Clin Oral Investig.* 2021 Jan;25(1):231-236.
14. Bernardes RA, Duarte MA, Vasconcelos BC, Bramante CM, Silva EJ. Clinical reproducibility of Tri Auto ZX2 dedicated motor and electronic foraminal locator in determining root canal working length. *G Ital Endodon [Internet].* 2021 Jun.11 [cited 2021 Jun.22];35(1).
15. Cruz ATG, Wichnieski C, Carneiro E, da Silva Neto UX, Gambarini G, Piasecki L. Accuracy of 2 Endodontic Rotary Motors with Integrated Apex Locator. *J Endod.* 2017 Oct;43(10):1716-1719.
16. Ricucci D, Langeland K. Apical limit of root canal instrumentation and obturation, part 2. A histological study. *Int Endod J.* 1998 Nov;31(6):394-409.
17. Baldi JV, Victorino FR, Bernardes RA, de Moraes IG, Bramante CM, Garcia RB, Bernardineli N. Influence of embedding media on the assessment of electronic apex locators. *J Endod.* 2007 Apr;33(4):476-9.
18. Iparraguirre Nuñovero MF, Piasecki L, Segato AVK, Westphalen VPD, Silva Neto UX, Carneiro E. A laboratory study of the accuracy of three electronic apex locators: influence of embedding media and radiographic assessment of the electronic apical limit. *Int Endod J.* 2021 Jul;54(7):1200-1206.

19. Schell S, Judenhofer MS, Mannheim JG, Hülber-J M, Löst C, Pichler BJ, ElAyouti A. Validity of longitudinal sections for determining the apical constriction. *Int Endod J*. 2017 Jul;50(7):706-712.
20. Topuz O, Uzun O, Tinaz AC, Bodrumlu E, Görgül G. Accuracy of two apex-locating handpieces in detecting simulated vertical and horizontal root fractures. *J Endod*. 2008 Mar;34(3):310-3.
21. Piasecki L, José Dos Reis P, Jussiani EI, Andrello AC. A Micro-computed Tomographic Evaluation of the Accuracy of 3 Electronic Apex Locators in Curved Canals of Mandibular Molars. *J Endod*. 2018 Dec;44(12):1872-1877.
22. Abdelsalam N, Hashem N. Impact of Apical Patency on Accuracy of Electronic Apex Locators: In Vitro Study. *J Endod*. 2020 Apr;46(4):509-514.
23. Fadel G, Piasecki L, Westphalen VP, Silva Neto UX, Fariniuk LF, Carneiro E. An in vivo evaluation of the auto apical reverse function of the Root ZX II. *Int Endod J*. 2012 Oct;45(10):950-4.
24. Jakobson SJ, Westphalen VP, da Silva Neto UX, Fariniuk LF, Picoli F, Carneiro E. The accuracy in the control of the apical extent of rotary canal instrumentation using Root ZX II and ProTaper instruments: an in vivo study. *J Endod*. 2008 Nov;34(11):1342-1345.
25. Piasecki L, Carneiro E, Fariniuk LF, Westphalen VP, Fiorentin MA, da Silva Neto UX. Accuracy of Root ZX II in locating foramen in teeth with apical periodontitis: an in vivo study. *J Endod*. 2011 Sep;37(9):1213-6.
26. ElAyouti A, Löst C. A simple mounting model for consistent determination of the accuracy and repeatability of apex locators. *Int Endod J*. 2006 Feb;39(2):108-12.
27. Altenburger MJ, Cenik Y, Schirrmeister JF, Wrbas KT, Hellwig E. Combination of apex locator and endodontic motor for continuous length control during root canal treatment. *Int Endod J*. 2009 Apr;42(4):368-74.
28. Vasconcelos BC, Frota LM, Souza Tde A, Bernardes RA, Duarte MA. Evaluation of the maintenance of the apical limit during instrumentation with

hybrid equipment in rotary and reciprocating modes. *J Endod.* 2015 May;41(5):682-5.

29. Siu C, Marshall JG, Baumgartner JC. An in vivo comparison of the Root ZX II, the Apex NRG XFR, and Mini Apex Locator by using rotary nickel-titanium files. *J Endod.* 2009 Jul;35(7):962-5.

Table 1. Actual preoperative length (RL1), in millimeters, of specimens from each group (n=13).

	Gtri	Geco	Giro	Groo
1	17.22	17.64	18.76	18.05
2	17.64	17.92	17.69	17.40
3	18.24	18.68	16.51	17.27
4	15.34	18.36	19.04	17.50
5	18.83	18.84	17.60	17.47
6	18.21	16.58	18.37	18.11
7	17.66	17.44	18.67	17.64
8	18.01	16.98	17.96	17.21
9	17.91	17.27	15.98	17.56
10	17.88	17.75	18.55	19.27
11	16.96	18.28	18.30	17.45
12	15.54	17.86	18.76	17.99
13	17.97	17.31	16.05	17.20

Table 2. Electronic length (EL), in millimeters, of specimens from each group (n=13).

	<i>Gtri</i>	<i>Geco</i>	<i>Giro</i>	<i>Groo</i>
1	18.01	17.06	18.32	17.83
2	17.28	16.71	17.31	17.13
3	17.87	17.81	15.97	17.05
4	16.38	16.31	18.87	17.74
5	18.56	18.58	17.13	17.64
6	17.90	16.23	17.11	17.98
7	17.15	17.00	18.22	17.05
8	17.55	16.26	16.98	17.24
9	17.89	16.45	15.99	17.55
10	17.74	17.26	17.80	19.24
11	16.44	17.46	18.01	17.42
12	15.02	16.94	17.43	17.84
13	17.43	17.13	15.70	17.18

Table 3. Comparison of EAL function. Mean difference (standard deviation), in millimeters, between the electronic length (EL) and the actual preoperative length (RL1)

	<i>LAE*</i>
<i>G_{roo}</i>	-0.09 (0.21) ^A
<i>G_{eco}</i>	-0.75 (0.49) ^B
<i>G_{iro}</i>	-0.57 (0.40) ^{BC}
<i>G_{tri}</i>	-0.17 (0.51) ^{AC}

*one-way ANOVA and Tukey HSD post-hoc. Different capital letters indicate a statistically significant difference within the same column (p<0.05).

Table 4. Comparison of AAR function. Mean difference (standard deviation), in millimeters, between the working length (WL) and the actual postoperative length (RL2).

	ARA**
G_{roo}	-0.51 (0.27) ^A
G_{eco}	0.21 (0.67) ^B
G_{iro}	-0.19 (0.27) ^{AB}
G_{tri}	-0.47 (0.32) ^A

**Brown-Forsythe and Tukey HSD post-hoc. Different capital letters indicate a statistically significant difference within the same column (p<0.05).

Table 5. Distribution and percentage of differences between working length (WL) and actual postoperative length (RL2) by different integrated motors.

<i>WL-RL2 (mm)</i>	<i>Gtri</i>		<i>Geco</i>		<i>Giro</i>		<i>Groo</i>	
	n°	%	n°	%	n°	%	n°	%
-1.0 à -1.5	1	7.69	1	7.69	0	0	1	7.69
-0.5 à -1.0	4	30.76	2	15.38	1	7.69	7	53.84
0 à -0.5	8	61.53	5	38.46	9	69.23	5	38.46
>0	0	0	5	38.46	3	23.07	0	0

Negative values indicate a short (or cervical) position in relation to the actual postoperative length. Positive values indicate position beyond apical foramen opening.

Continuação do Protocolo: 4.705.548

será definido como o comprimento real pré-operatório (CR1). Serão incluídos no estudo somente os dentes compatíveis com as medidas previamente estabelecidas. **METODOLOGIA DA ANÁLISE (FUNÇÃO LAE)** - Após a total remoção do conteúdo do canal os elementos serão distribuídos aleatoriamente em quatro grupos (n=13) e será conduzida a medição eletrônica através dos respectivos aparelhos compondo os grupos experimentais. Cada grupo será montado em um bloco de esponja vegetal, embebida em solução salina a 0,9% para que toda a parte da raiz permaneça imersa e estável, simulando condições in vivo. Os canais serão irrigados com NaOCl a 2,5% e aspirados, mantendo o canal úmido e a câmara pulpar seca para iniciar a medição eletrônica. Para medir o CD usando os LAEs, será usada uma lima Flexofile de calibre #10 passando pelo forame e recuando até a estabilização do status "ZERO" ou "APEX" pelo visor do dispositivo. Será realizada também a mensuração na marcação 0.5 do display. Nesse momento o cursor de borracha será ajustado ao ponto de referência coronal. A distância entre a ponta da lima e o cursor de borracha será medida com paquímetro digital e esse comprimento será definido como o comprimento eletrônico (CE) do canal radicular e todos os elementos analisados serão tabelados. Cada grupo de 13 elementos será medido por um localizador diferente: Grupo 1: TriAuto ZX II; Grupo 2: E-Connect S; Grupo 3: iRoot Pro; Grupo 4: Root ZX II. **METODOLOGIA DA ANÁLISE (FUNÇÃO ARA)**- A metodologia de análise dessa função foi baseada em estudo prévio que também avaliou a função ARA (KLEMM, 2020). Os elementos serão distribuídos aleatoriamente em 4 grupos de acordo com o dispositivo utilizado. Após a seleção da marcação "0.5" no display dos aparelhos, o sistema ProTaper Universal será utilizado de acordo com as recomendações do fabricante até o instrumento F3. O último instrumento será utilizado até que a função "Auto Reverso Apical" dos dispositivos reverta o movimento, indicando o término do preparo. A patência será verificada através da inserção de um instrumento Flexofile #10 e a irrigação final realizada com EDTA a 17% seguido de NaOCl a 2,5% também por 3 minutos. O instrumento F3 será introduzido manualmente no interior do canal até o limite do preparo e o cursor de borracha ajustado ao bordo de referência. A distância entre a ponta do instrumento e o cursor de borracha será definida como comprimento de trabalho (CT). Por fim o instrumento Flexofile #10 será introduzido até ser visualizado na porção mais cervical do forame apical para obtenção do do comprimento real pós-operatório (CR2).

Estão previstos 52 participantes que serão solicitados a ceder dente extraído por motivos alheios à pesquisa.

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 401
 Bairro: Trindade CEP: 88.040-400
 UF: SC Município: FLORIANÓPOLIS
 Telefone: (48)3721-8094 e-mail: cdp.gropesq@contato.ufsc.br

UNIVERSIDADE FEDERAL DE
SANTA CATARINA - UFSC



Continuação do Parecer: 4.705.546

Instituição e Infraestrutura	declaracaoprefeitura.pdf	18:04:47	CALDAS SILVEIRA	Aceito
Declaração de Instituição e Infraestrutura	declaracaoufsc.pdf	05/04/2021 17:55:33	MATHEUS POMPEO CALDAS SILVEIRA	Aceito

Situação do Parecer:

Aprovado

Necessita Apreciação da CONEP:

Não

FLORIANOPOLIS, 11 de Maio de 2021

Assinado por:
Nelson Canzian da Silva
(Coordenador(a))

Endereço: Universidade Federal de Santa Catarina, Prédio Reitoria II, R: Desembargador Vitor Lima, nº 222, sala 401
Bairro: Trindade CEP: 88.040-400
UF: SC Município: FLORIANOPOLIS
Telefone: (48)3721-8094 E-mail: csp.propeq@contato.ufsc.br