

Paweł SZWED, Igor Piotr KURYTNIK

AKADEMIA TECHNICZNO-HUMANISTYCZNA, KATEDRA ELEKTROTECHNIKI I AUTOMATYKI,
ul. Willowa 2, 43-309 Bielsko-Biała

Pomiary długości kanałów zębów metodami elektrycznymi**Mgr inż. Paweł SZWED**

Doktorant Katedry Elektrotechniki i Automatyki Wydziału Budowy Maszyn i Informatyki Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Białej. Zainteresowania związane z zagadnieniami projektowania urządzeń elektronicznych oraz sprzętu i technologii medycznych.



e-mail: pawlik118@tlen.pl

Prof. dr hab. inż. Igor Piotr KURYTNIK

Profesor zwyczajny ATH w Bielsku-Białej, Kierownik Katedry Elektrotechniki i Automatyki. Z wyróżnieniem ukończył Wydział Automatyki i Elektroniki Politechniki Lwowskiej (1968). Obrona doktoratu 1973, habilitacja 1987; jest autorem ponad 250 patentów i publikacji naukowo-technicznych z zakresu technik informacyjno-pomiarowych. Członek Akademii Inżynierskich w Polsce i Ukrainie. Reprezentant Polskiego Komitetu Normalizacyjnego, konsultant do spraw rozwoju firmy Limathermsensor.



e-mail: ikurytnik@ath.bielsko.pl

Streszczenie

Poprawne określenie długości roboczej kanału zębowego jest podstawą prawidłowego leczenia kanałowego zęba, określającego jakość leczenia i komfort pacjenta. Opracowanie przybliża zagadnienia związane z elektrycznymi metodami wyznaczenia długości roboczej kanału korzeniowego zęba, z wykorzystaniem urządzeń Apex Locator, zwanych Endometrami. Zostały omówione metody pomiarów i zagadnienia techniczne związane z działaniem tych urządzeń, oraz opisana ewolucja elektronicznych endometrów.

Słowa kluczowe: APEX, Endometr, Apex Locator.

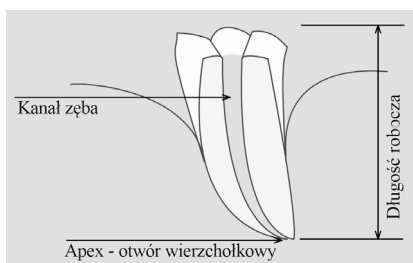
Electronic determination of a root canal length**Abstract**

Correct determination of the working length of a root canal is the basis for proper root canal treatment, affecting the quality of treatment and patient comfort. This paper explains the issues related to electronic determination of the root canal length using Apex Locator devices, called Endometer. There are discussed the methods and technical issues associated with the operation of these devices and there is described the evolution of electronic methods for measuring the length of the root canal.

Keywords: APEX, Endometr, Apex Locator.

1. Wprowadzenie

Prawidłowe wyznaczenie długości roboczej jest jedną w fundamentalnych czynności wpływających na powodzenie endodontycznego leczenia zęba. Wyznaczenie to ma na celu określenie długości roboczej – długości na której kanał zębony powinien być opracowany i wypełniony. Nieprecyzyjne wyznaczenie długości roboczej skutkuje niepowodzeniem leczenia jak i naraża pacjenta na różne powikłania zdrowotne, co często wymusza przeprowadzenie ponownego leczenia. Rozumienie długości roboczej i położenie punktu wierzchołkowego APEX pokazuje rys. 1.

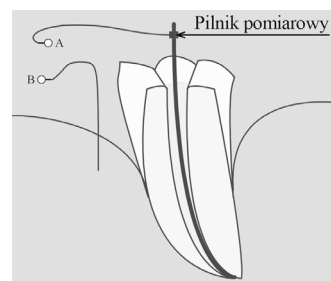


Rys. 1. Przekrój zęba ludzkiego
Fig. 1. Human tooth

Tradycyjne metody wyznaczania tej długości opierały się głównie na wykonywaniu zdjęcia RTG z włożonym w kanał zęba pilnikiem pomiarowym. Na podstawie tak wykonanego zdjęcia można było wyznaczyć właściwą długość roboczą. Technika ta ma jednak istotne wady, gdyż wymaga poddawania pacjenta działaniu szkodliwego promieniowania rentgenowskiego, dostęp do kosztownej aparatury rentgenowskiej jest utrudniony a dokładność wyznaczonej w ten sposób długości roboczej często była mała. Istnieją też mniej znane metody, np. ultradźwiękowe (obecnie rzadko używane) – polegające na tym, że podczas penetracji kanału występują dwa dźwięki, które ulegają zsynchronizowaniu w okolicy punktu Apex, gdy zgłębnik kanałowy zetknie się z ozębną.

Wraz z rozwojem technologicznym, do wyznaczania długości roboczej zaczęto wykorzystywać elektroniczne urządzenia zwane Apex Locatorami. Urządzenia te są o wiele tańsze od aparatury rentgenowskiej, szybsze w użyciu, mobilne, nie powodują zdrowotnych skutków ubocznych, a ich dokładność jest obecnie na bardzo wysokim poziomie.

Obecnie wykorzystuje się głównie metody elektroniczne, gdyż badania dowodzą, że dają one najbardziej trafne wyniki. Urządzenia te posiadają elektrodę dodatnią i ujemną (A) i (B), i opierają się na przepływie prądu. Jedna elektroda (B) w postaci klipsa zahaczona jest zwykle o policzek, a druga (A) przypięta jest do trzonka metalowego pomiarowego instrumentu kanałowego (rys. 2).



Rys. 2. Schemat pomiarowy
Fig. 2. Measuring scheme

Podczas, kiedy instrument – pilnik pomiarowy przesuwają wzdłuż kanału prąd jest mierzony, na podstawie czego wyznaczana jest impedancja $|Z|$, której wartość koreluje z osiaganiem przez instrument pomiarowy wierzchołka zęba. Osiągnięcie punktu APEX sygnalizowane w zależności od urządzenia za pomocą różnego typu sygnału dźwiękowego, wskazań wychylenia strzałki lub obrazowo w połączeniu z odpowiednim sygnałem ostrzegawczym. Dzięki temu wskazaniu, lekarz może wyznaczyć odpowiednią głębokość, do której kanał musi zostać wypełniony.

2. Elektryczne techniki wyznaczania długości roboczej

Ze względu na ciągły rozwój elektrycznych technik wyznaczania długości roboczej kanału zębowego, przyjęto umowny podział na kolejne „generacje” endometrów. Generacja pierwsza znana jest jako „rezystancyjna”, druga „impedancyjna”, trzecia i kolejne jako „częstotliwościowa”.

1) pierwsza generacja - metody bazujące na pomiarze oporu elektrycznego (metoda wychodząca z użycia) – opór elektryczny między błoną śluzową a ozębną jest stały. Endometry elektryczne sygnalizują przepływ prądu o wartości około 40 μA , odpowiadający oporowi 6,5 kOhm w momencie, w którym koniec narzędzia znajdzie się w otworze wierzchołkowym.

2) druga generacja – metoda bazująca na podobnej zasadzie jak metoda rezystancyjna, z tym że do sprawdzenia osiągnięcia punktu Apex nie wykorzystuje się samej rezystancji, lecz impedancję, którą wyznacza się z wykorzystaniem przepływu prądu o częstotliwości kilkuset Hz.

3) trzecia generacja - kolejna generacja endometrów, zwana endometrami porównującymi powstała w celu zmniejszenia błędów wskazań powodowanych przez zmienne warunki biologiczne i chemiczne panujące w obszarze badanego kanału zębowego. Reaktywny składnik w kanale zębowym ułatwia przepływ prądu zmiennego, tym bardziej im wyższa jego częstotliwość. Tkanki, przez które przepływają dwa prądy zmiennie o różnej częstotliwości będą wykazywały różne impedancje, dla prądu o wyższej częstotliwości impedancja będzie mniejsza, niż dla prądu o częstotliwości niższej. Fakt ten jest wykorzystywany do wyznaczania punktu wierzchołkowego apex. Podstawą w tej metodzie jest przepuszczanie przez badany obiekt prądu zmiennego o dwóch częstotliwościach, zwykle około $f_1=0,5\text{kHz}$ oraz $f_2=5\text{kHz}$. Następnie, wyznacza się dwie impedancje $|Z_1|$, $|Z_2|$ odpowiednio dla każdej częstotliwości. Porównując względne wartości obu impedancji możliwe jest bardziej precyzyjne wyznaczenie długości roboczej kanału zębowego. W tej metodzie ważniejszy jest względny stosunek obu tych impedancji niż sama ich wartość.

Metoda ta oferuje mniejsze błędy wynikające z różnej wilgotności kanału zębowego niż metoda impedancyjna wykorzystująca tylko jedną częstotliwość pomiarową.

4) czwarta generacja – metoda bardzo podobna do poprzedniej. Również bazująca na pomiarze dwóch impedancji, jednak w celu zwiększenia dokładności w danej chwili odbywa się pomiar tylko jednej impedancji, zamiennie z pomiarem drugiej impedancji. Endometry tej generacji wykazują większe dokładności w osuszonych kanałach. W kanałach mokrych lub z wysiękiem krwi błędy wskazania są znaczące.

5) piąta generacja – jest wynikiem rozwinięcia generacji trzeciej i czwartej. Kluczowa zmiana polega na zwiększeniu ilości wyznaczanych impedancji do pięciu. Czasem jednak endometry mają mniej niż 5 częstotliwości pomiarowych, a dokładność jest zwiększana poprzez programowe algorytmy matematyczne, wykrywające warunki panujące w badanym kanale (np. czy jest on mokry lub suchy). Endometry określane jako piątej generacji posiadają często również dodatkowe funkcje, takie jak na przykład obwody i funkcje autodiagnostyki. Endometry te oferują najmniejsze błędy w kanałach wilgotnych. Producenci endometrów tej generacji często zalecają dodatkowe zwilżanie kanału przed wykonaniem pomiaru w celu podniesienia dokładności pomiaru. Według producentów nie wymagają kalibracji.

6) szósta generacja – to endometry wyposażone w zaawansowane układy logiczne. Wadą czwartej generacji były relatywnie duże błędy przy pomiarach w wilgotnych kanałach, a piątej generacji pomiary w suchych kanałach.

Założeniem metody szóstej generacji jest adaptacja, polegająca na wstępnym określeniu warunków panujących wewnątrz kanału zębowego, i w zależności od nich odpowiednim doborze metody i parametrów wykonywania pomiaru.

Dzięki adaptacji, możliwe jest dokonywanie pomiarów zarówno w mokrych jak i suchych kanałach, jak również kanałach zawierających krew, płyny ustrojowe oraz resztki miazgi.

Podział endometrów nie jest ściśle jednoznaczny, co powoduje że endometry różnych generacji mogą posiadać wspólne cechy konstrukcyjne i funkcjonalne.

3. Badania „In vitro”

W celach naukowych badania dokładności endometrów mogą być wykonywane „In vitro”, czyli poza organizmem żywym. Do tego celu należy zbudować model zastępczy zęba ludzkiego. Model można zbudować z użyciem odpowiednio przygotowanego zęba ludzkiego, którego osadza się w masie alginatowej, przygotowanej z użyciem soli fizjologicznej. Tak przygotowana masa alginatowa dobrze oddaje warunki panujące w żywym organizmie, dzięki czemu badania „In vitro” są możliwe, a ich wyniki są wiarygodne, co potwierdza wiele badań. Aby przeprowadzić badania, materiał musi być odpowiedniej jakości. Zęby muszą być kompletne, korzenie bez pęknięć. Szklivo i zębina od czoła zęba muszą wcześniej zostać rozwiercone, aby umożliwić dostęp do kanałów. Kanały korzeniowe muszą zostać oczyszczone z miazgi. W celach BHP ząb taki powinien zostać poddany odpowiedniej sterylizacji.

4. Zasada pomiaru elektrycznego

W 1962 roku, Sunada opracował lokalizator wierzchołka opierający się na założeniu, że istnieje stała rezystancja 6,5 kOhm pomiędzy błoną przyzębia a jamą ustną. Głównym mankamentem wczesnych endometrów były błędne odczyty, spowodowane obecnością elektrolitów w środowisku pomiarowym. Wprowadzono zatem nowe rozwiązania dokonywania pomiarów.

Nowsze metody („ratio type”) bazują na zasadzie, że dwa prądy sinusoidalne o różnych częstotliwościach i amplitudach zostają przepuszczone przez pilnik pomiarowy do ciała pacjenta, aby wyznaczyć dwie różne impedancje, odpowiednio $|Z_1|$ dla f_1 i $|Z_2|$ dla f_2 . Wartości obu tych impedancji są zależne od rodzaju elektrolitu w kanale.

W miarę przemieszczania się pilnika pomiarowego w kanale, impedancje zmieniają swoją wartość. Gdy pilnik jest położony z dala od wierzchołka, impedancja w kanale jest nieokreślona. Gdy pilnik znajdzie się w bezpośrednim sąsiedztwie wierzchołka wartość impedancji kanału nagle wzrasta. W sytuacji, gdy końcówka pilnika osiągnie głębokość tkanek okołowierzchołkowych, takich jak więzadła przyzębia pojemność kanału znacznie wzrasta, więc wartości impedancji gwałtownie spada, co oznacza, że pilnik przechodzi przez wierzchołek zęba (Apex). Urządzenie wychwytuje i sygnalizuje ten moment. Moment ten jest wykrywany poprzez nagłe zmiany ilorazu wynikającego z podzielenia dwóch impedancji $|Z_1|/|Z_2|$.

Kobayashi i Suda, w 1994 r., wykazał, że stosunek zmiany impedancji dla dwóch różnych impedancji definiuje pozycję pilnika w kanale, oraz że stosunek wskaźnika zmian nie zmienia się podczas kontaktu z różnymi elektrolitami w kanale.

Różne rodzaje płynów w kanale dają różne wartości impedancji. Dzięki użyciu dwóch różnych częstotliwości do pomiarów, urządzenia można używać pracując z różnymi płynami w kanałach, ponieważ iloraz (o ustalonej wartości równej 0,67) jest zawsze taki sam.

Endometr Root ZX używa dwóch różnych częstotliwości (8 kHz i 400 Hz) do jednoczesnego pomiaru impedancji w kanale. Następnie urządzenie wyznacza wartość ilorazu przez podzielenie wartości impedancji wynikającej z pomiaru częstotliwością 8 kHz przez wartość impedancji wynikającej z pomiaru częstotliwością

400 Hz. Wierzchołek zostaje osiągnięty, gdy iloraz ten wynosi 0,67. Endometry Root ZX i Bingo 1020 używają dwóch oddzielnych częstotliwości 400 Hz do 8 kHz. Endometr EMF – 100 DLX wykorzystuje częstotliwości 500 Hz i 5kHz. Producenci endometru Bingo 1020 twierdzą, że używanie tylko jednej częstotliwości w danym czasie, w oparciu o średnie kwadratowe wartości sygnałów zwiększa dokładność pomiarów i niezawodność urządzenia.

5. Procedura wykonywania pomiaru endometrem

1. Przed wykonaniem pomiaru endometrem na podstawie diagnostycznego zdjęcia radiologicznego należy określić przybliżoną długość roboczą kanału. Jeśli zdjęcie radiologiczne wykonane techniką dwusiecznej kąta, przybliżoną długość roboczą określa się poprzez odjęcie 1-2 mm od długości radiologicznej.

2. Na podstawie tak przyjętej długości należy oznaczyć kilka pilników różnej grubości wprowadzać kolejno do badanego kanału. Do pomiaru elektrycznego należy użyć pilnika o odpowiedniej grubości, takiej przy której pilnik lekko blokuje się przy wprowadzaniu do kanału.

3. Klips wargowy należy nałożyć na policzek. Do uchwytu mocujemy wybrany pilnik pomiarowy. Jeśli w kanale znajduje się żywa lub nekrotyczna wilgotna miazga kanału nie trzeba oczyszczać. W przypadku suchego kanału należy go przepłukać podchlorynem sodu, a komorę osuszyć. Należy zadbać, aby klips wargowy przylegał do wilgotnej części policzka.

4. Po włączeniu urządzenia dokonujemy pomiaru. Wkładając pilnik w głąb kanału, osiągnięcie punktu Apex będzie sygnalizowane.

5. Następnie należy odpowiednio przesunąć stoper na instrumencie do miejsca punktu odniesienia. Długość robocza będzie równa odległości końca pilnika do początku stopera. Tak przygotowany pilnik należy włożyć w linijkę milimetrową i odczytać długość kanału korzeniowego.

6. Wybrane zalety i wady pomiarów z wykorzystaniem endometrów elektrycznych

Zalety metody endometrycznej elektrycznej:

- Pomiar jest szybki
- Możliwość wielokrotnego przeprowadzenia pomiaru podczas leczenia endodontycznego
- Jest metodą nie obciążającą pacjenta (ochrona radiologiczna)
- Możliwość pomiaru wąskimi narzędziami 0.06, 0.08, 0.10 nie widocznymi na zdjęciu rtg
- Możliwość zastosowania w przypadku podejrzenia perforacji zęba
- Określają one długość zęba do otworu fizjologicznego, a nie do radiologicznego wierzchołka zęba
- Przeciwwskazania do używania endometrów elektrycznych:
 - nie może być stosowany u osób z rozrusznikiem serca
 - uszkodzone lub rozwidłone kanały

7. Dodatkowe zastosowania endometrów

Wraz z rozwojem technologii medycznych, endometry poza przydatnością do określania długości roboczej są wykorzystywane również jako składnik innych urządzeń. Często stanowią uzupełnienie mikrosilników endodontycznych służących do maszynowego opracowywania kanałów zębowych. Dzięki temu połączeniu, wraz z postępowaniem opracowywania kanału możliwe jest sygnalizo-

wane lekarzowi dojścia do końca kanału. Zmniejsza to ryzyko przejścia narzędziem endodontycznym poza wierzchołek zęba, oraz skraca i ułatwia samo opracowywanie kanału zębowego.

8. Wnioski

Dzięki rozwojowi elektrycznych technologii wyznaczania długości roboczej, wykorzystanej w endometrach, lekarze stomatologodzy otrzymali wartościowe narzędzie ułatwiające i poprawiające jakość wykonywanych przez nich zabiegów leczenia kanałowego zęba. Techniki te przynoszą również korzyści dla pacjentów, w postaci minimalizowania dokuczliwych powikłań po tego typu zabiegach. Wykorzystanie endometrów w praktyce lekarskiej znacząco zmniejsza narażenie pacjentów na oddziaływanie promieniowania wykorzystywanego przy wykonywaniu zdjęć RTG.

Dokładniejsze określenie położenia otworu fizjologicznego znacznie zmniejsza szanse na przechodzenie instrumentami poza wierzchołek lub znaczne nie dochodzenie do wierzchołka, co ma kluczowy wpływ na powodzenie leczenia. Z całą pewnością można dzisiaj przyjąć, że elektroniczny pomiar długości roboczej kanału korzeniowego jest: szybki, dokładny i stosunkowo prosty do wykonania.

Ten materiał został przygotowany w celach naukowych i edukacyjnych, nie jest dokumentem medycznym i nie powinien być bezpośrednio wykorzystywany do prowadzenia leczenia pacjentów oraz stawiania diagnoz, bez konsultacji i odpowiedzialności lekarza. Autor i współautor nie ponoszą odpowiedzialności za szkody, w tym szkody w zdrowiu spowodowane wykorzystaniem treści niniejszego artykułu.

9. Literatura

- [1] Sang-Yup Sung, Jeong-Kil Park, Bock Hur, Hyeon-Cheol Kim: In vitro comparison of measurement accuracy in pre-enlarged and enlarged canals with four apex locators. 2006; 371-375
- [2] Sunada I.: New method for measuring the length of the root canal. J Dent Res 1962;41:375-387.
- [3] Kobayashi C.: Electronic canal length measurement. Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod 1995;79:226- 231.
- [4] Katz A., Tamse A., Kaufman A.Y.: Tooth length determination: a review. Oral Surg Oral Med Oral Pathol 1991;72:238-242.
- [5] Czerw R.J., Fulkerson M.S., Donnelly J.C., et al.: In vitro evaluation of the accuracy of several electronic apex locators. J Endod 1995; 21:572-575.
- [6] Becker G.J., et al.: 1980 Electronic determination of root canal length. J. Endodon 6: 876-880.
- [7] Kobayashi C., Suda H.: New electronic canal measuring device based on the ratio method J. Endod 20:111-114, 1994.
- [8] Lipski M., Woźniak K., Lichota D., Jamrosz-Czyk K., Nowicka A., Góra M., Trąbska-Świsłtelnicka M., Sobolewska E., Tomasiak M., Buczkowska-Radlińska J.: Ocena porównawcza endometrów APEX D.S.P i ROOT ZX. Badanie in vitro. Roczniki PAM w Szczecinie, ISSN 1427-440X, 2008; 33-36.
- [9] Slavcho Dimitrov, Dimitur Roshkev: Sixth generation adaptive APEX locator, Journal of IMAB - Annual Proceeding (Scientific Papers) 2009, book 2, 75-78.
- [10] Ingle J.J., Himel V.T., Hawrish C.E., Glickman G.N., Serene T., Rosenberg P.A., Buchanan L.S., West J.D., Ruddle C.J., Camp J.H., Roane J.B. and Cecchini S.C.M.: Endodontic cavity preparation. In Ingle JI, Bakland LK (eds). Endodontics. 5th ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 2002:517-22.
- [11] Manhal A.R. Majeed B.D.S, M.Sc, Ph.D, Ahmed Gh. Subhi B.D.S: M.Sc. Assessment of the accuracy of a fifth generation apex locator (in vitro study), Vol. 23(1), 2011.

otrzymano / received: 27.06.2014

przyjęto do druku / accepted: 01.10.2014

artykuł recenzowany / revised paper