

Resorpcja korzeni indukowana leczeniem ortodontycznym – przegląd piśmiennictwa

Zakład Radiologii Stomatologicznej i Szczękowo-Twarzowej, Wydział Lekarsko-Dentystyczny, Warszawski Uniwersytet Medyczny
Kierownik Zakładu: prof. dr hab. n. med. Kazimierz Szopiński

SŁOWA KLUCZOWE

resorpcja zewnętrzna, resorpcja przyszyjkowa, CBCT

STRESZCZENIE

Częstym niepożądanym efektem ubocznym w leczeniu ortodontycznym jest resorpcja korzeni przesuwanych zębów.

Resorpcja jest obserwowana najczęściej w zębach stałych. Proces ten może dotyczyć każdej części korzenia, najczęściej jednak jego części wierzchołkowej lub okolicy szyjki zęba. Powstawanie i rozwój tych zmian jest procesem długotrwałym i zależnym od różnych czynników. Etiologia zmian resorpcyjnych związana z leczeniem ortodontycznym jest dyskutowana przez wielu autorów, a w literaturze występuje wiele jej klasyfikacji. Na szczególną uwagę zasługują prace dotyczące technik leczenia wad zgryzu i możliwych powikłań terapii. Dzięki nowoczesnej diagnostyce można wcześniej wykryć tę patologię i jej zaradzić. Do technik tych są zaliczane zdjęcia zębowe wykonane techniką kąta prostego w połączeniu z tomografią komputerową wiązką stożkową. Lekarze zauważają nie tylko potrzebę doprowadzenia zębów pacjenta do pięknego uśmiechu, ale także biorą pod uwagę ewentualne skrócenie długości korzeni. Proces ten nie jest do końca poznany, ale świadomość możliwości wystąpienia powikłań jest istotna przy planowaniu i prowadzeniu leczenia zarówno ortodontycznego, jak i ogólnostomatologicznego

WPROWADZENIE

Leczenie ortodontyczne jest często związane z pojawieniem się resorpcji korzeni przesuwanych zębów. Resorpcja korzenia jest procesem prowadzącym do utraty twardych tkanek: zębiny, cementu i/lub struktury kostnej wyrostka zębodołowego. Jest to proces długotrwały, nie powoduje bólu, resorpcję wykrywa się zazwyczaj przypadkowo podczas rutynowego badania radiologicznego (1-3). Opisany wyżej proces może być fizjologiczny lub patologiczny. Resorpcja fizjologiczna dotyczy zębów mlecznych i powstaje na skutek reakcji biochemicznej mieszka zęba stałego z ozębnią korzenia zęba mlecznego (4). Proces ten rozpoczyna się około 4.-5. roku życia, tj. 2-4 lata przed fizjologiczną wymianą uzębienia (5).

Resorpcja patologiczna dotyczy zazwyczaj zębów stałych. W literaturze występuje wiele klasyfikacji resorpcji, ze względu na: umiejscowienie, czynniki sprawcze i stopień zaawansowania. Najprostszym i najczęściej używanym klinicznie jest podział na resorpcję zewnętrzną, wewnętrzną oraz zewnątrzno-wewnętrzną (5-7). Zewnętrzna może dotyczyć okolicy szyjki zęba, środkowej części lub wierzchołka korzenia, rozpoczyna się powierzchownie i rozprzestrzenia się w kierunku zębiny i jamy zęba. Najczęściej

obserwowanymi czynnikami wywołującymi resorpcję zewnętrzną są: stan zapalny tkanek okołowierzchołkowych, uraz (8), ektopowo wyrzynający się ząb sąsiedni (9), naciekający guz nowotworowy, torbiel zawiązkowa, przewlekły uraz zgryzowy oraz leczenie ortodontyczne (10, 11). Wewnętrzna jest procesem występującym rzadziej niż zewnętrzna (12), rozpoczyna się w zębieniu i szerzy się w kierunku cementu (5). Wśród najczęstszych czynników wywołujących resorpcję wewnętrzną wymienia się przewlekłe zapalenie miazgi o podłożu bakteryjnym oraz zaburzenia w miejscowym krążeniu krwi, których przyczyną może być uraz (6, 10). Jednocześnie występowaniu obu procesów nazywane jest resorpcją zewnątrzno-wewnętrzną lub perforującą (10).

Związek leczenia ortodontycznego z resorpcją korzeni opisał w literaturze po raz pierwszy Ottolengui w 1914 roku (13), a oceny radiologicznej dokonał Ketcham, który już w latach 20. ubiegłego wieku zauważył duże skrócenie wierzchołków korzeni po leczeniu ortodontycznym (14). Autor zwrócił tym samym uwagę kolejnych pokoleń ortodontów na resorpcję korzeni, będącą powikłaniem leczenia ortodontycznego oraz czynniki sprzyjające postępowi tego procesu. Badanie Ketchama miało także na celu uświadomienie lekarzom konieczności wykonywania badań

radiologicznych przed leczeniem ortodontycznym i po jego zakończeniu (14, 15). Termin „ortodontycznie indukowana zapalna resorpcja korzenia” (ang. *orthodontically induced inflammatory root resorption* – OIIRR) została wprowadzona do nazewnictwa i literatury przez Brezniak i Wasserstein w 2002 roku (11).

Celem pracy było przedstawienie etiologii, charakterystycznych cech i typów resorpcji korzeni indukowanych ortodontycznie oraz proponowanych na podstawie przeglądu dostępnego piśmiennictwa.

Przeprowadzono systematyczny przegląd literatury dotyczącej resorpcji korzeni indukowanej ortodontycznie, opierając się na literaturze dostępnej w bazach: PubMed/MEDLINE, Polska Bibliografia Lekarska oraz ogólnodostępnej literaturze stomatologicznej. Podczas tworzenia bazy artykułów użyto słów kluczowych: resorpcja zewnętrzna (*external resorption*), resorpcja przyszyjkowa (*cervical resorption*), resorpcja korzenia (*root resorption*). Uwzględniono piśmiennictwo w języku polskim i angielskim. Do badania włączono prace opublikowane do 31.12.2017 roku. Uwzględniono artykuły, w których autorzy oceniali radiologicznie występowanie resorpcji korzeni w trakcie leczenia ortodontycznego lub po jego zakończeniu. Wyłączono prace, w których autorzy skupiali się na innych przyczynach resorpcji korzeni zębów.

ETIOLOGIA

Brezniak i Wasserstein zwracają uwagę na istotne elementy, które ortodonta powinien przeanalizować na radiogramach przed leczeniem: kształt korzeni, obecność zębów leczonych endodontycznie, agenezję, aplazję, ektopię, zęby replantowane, strukturę kości oraz istniejącą wadę zgryzu (11, 16). Wielu autorów, m.in. Vlaskalic i wsp. (17) oraz Topkara i wsp. (18), dzieli czynniki etiologiczne na dwie grupy: czynniki osobnicze – związane z pacjentem oraz czynniki bezpośrednio związane z leczeniem ortodontycznym (tab. 1).

Do czynników osobniczych zaliczono: czynniki genetyczne (2, 17-20), rasę (20), grupę zębów ulegających resorpcji, kształt korzeni zębów (2), rodzaj wady zgryzu (18, 20), niektóre choroby ogólne, jak: astma i alergie (2), a także wcześniejsze uszkodzenia struktury zęba, np. resorpcja szyjkowa

spowodowana czynnikami ogólnymi: chorobą Pageta (łac. *osteitis deformans*), stwardnienie guzowate, dysplazja ektodermalna (21-23) lub urazy zębów (24).

Do czynników ortodontycznych autorzy zaliczają: wiek (25, 26), typ aparatu (ruchomy lub stały), czas leczenia, stosowane poziomy sił, wyciągi elastyczne oraz mechanikę leczenia (2, 25, 27) (tab. 1). Rzadsze występowanie OIIRR obserwuje się u pacjentów w wieku około 11 lat (± 1), co związane jest z większą tolerancją biologiczną – w nieukształtowanych korzeniach rolę ochronną pełnią prążeńbina oraz szersza warstwa prącementu (25, 28, 29). W szczególności resorpcja występuje najczęściej w siekaczach bocznych i przyśrodkowych oraz kłach, podczas gdy w żuchwie najbardziej narażone są kolejno: kły, siekacze przyśrodkowe i boczne (24, 30-33). Nie bez znaczenia pozostaje kształt korzenia: korzenie z cechami dilaceracji, korzenie przypominające kształtem butelkę lub szpiczaste ulegają resorpcji częściej niż korzenie kształtu prawidłowego, natomiast krótkie i szerokie korzenie zębów – rzadziej w porównaniu z korzeniami długimi i wąskimi (25, 29, 34). Czas leczenia ortodontycznego jest również czynnikiem predysponującym do rozwoju resorpcji. U pacjentów leczonych przez okres do 1,5 roku bardzo rzadko stwierdza się resorpcję korzeni. Ryzyko wystąpienia zaawansowanej resorpcji korzeni zwiększa się u pacjentów leczonych powyżej 2-3 lat. Ryzyko zmniejsza się u pacjentów, którzy po 6-miesięcznym aktywnym leczeniu mieli dwu- lub trzymiesięczne przerwy, a następnie aktywne leczenie było wznowiane (18, 29). Ryzyko wystąpienia resorpcji korzenia jest również związane z wadą zgryzu, najczęściej obserwuje się ich rozwój u pacjentów ze zgryzem otwartym (30). Podczas leczenia ortodontycznego lekarz wybierając określoną technikę leczenia, operuje różnymi siłami. Stosowanie dużych napręgniennych sił oraz duże przesunięcia zębów predysponują do resorpcji (30, 32). Wyciągi elastyczne klasy II stosowane przez dłuższy czas również zwiększają ryzyko resorpcji. Kolejnym aspektem leczenia ortodontycznego jest mechanika wykorzystywana podczas leczenia. Mechanika intruzyjna połączona z retrakcją odcinka przedniego powoduje większą resorpcję niż sama retrakcja (27, 32, 33), natomiast mechanika intruzyjna – większą resorpcję niż leczenie bez mechaniki intruzyjnej (35). Czynnikiem predysponującym do rozwoju OIIRR jest również typ aparatu stosowany podczas leczenia – aparaty stałe stwarzają większe ryzyko wystąpienia resorpcji w stosunku do aparatów zdejmowanych ze względu na ciągłość wywieranych sił (20, 34). Ostatnim analizowanym przez badaczy aspektem jest rodzaj uzębienia. Fiore i wsp. stwierdzili, iż w zębach mlecznych włączonych do aparatu stałego również obserwowana jest resorpcja korzeni, ale w miejscach nietypowych dla resorpcji fizjologicznej (36). Wyselekcjonowane zostały także geny (*TNFRSF11A*, *IL-1beta*) oraz biomarkery śliny, które można oznaczyć u pacjentów leczonych ortodontycznie z rozpoznaną resorpcją wierzchołków korzeni zębów (tab. 2).

Tab. 1. Czynniki mające wpływ na powstawanie OIIRR

Czynniki osobnicze	Czynniki ortodontyczne
– Czynniki genetyczne	– Wiek w czasie rozpoczęcia leczenia
– Rasa	– Typ aparatu
– Grupa zębów	– Czas leczenia
– Kształt korzeni	– Stosowane poziomy sił
– Wada zgryzu	– Wyciągi elastyczne
– Choroby ogólne	– Mechanika leczenia
– Urazy zębów	

Tab. 2. Czynniki osobnicze i ortodontyczne mające wpływ na powstawanie OIIRR

Cecha	Czynnik predysponujący
Wiek pacjenta	powyżej 11. roku życia
Grupa zębów (kolejno od najbardziej podatnych OIRR)	w szczęcie: siekacze boczne i przyśrodkowe, kły w żuchwie: kły, siekacze przyśrodkowe i boczne
Kształt korzeni	dylaceracja korzenia, przypominające kształtem butelkę lub szpiczaste
Czas leczenia	powyżej 2-3 lat leczenia
Rodzaj wady zgryzu	zgryz otwarty
Siły	stosowanie dużych naprzedmiennych sił, duże przesunięcia zębów, wyciągi elastyczne klasy II
Mechanika leczenia	mechanika intruzyjna połączona z retrakcją odcinka przedniego
Typ aparatu	aparat stały

PATOMECHANIZM

Uszkodzenie cementoblastów i mało wrażliwego na niszczące działanie osteoklastów pracementu jest główną przyczyną resorpcji cementu. W ten sposób zostaje zachwiana równowaga pomiędzy działaniem apozycyjnym cementoblastów i resorpcyjnym osteoklastów. Proces ten obejmuje również otaczającą kość wyrostka zębołowego. Do rozwoju patologicznej resorpcji dochodzi tylko wtedy, gdy obecny jest czynnik stymulujący, np. siła ortodontyczna. Nieobecność bodźca stymulującego powoduje zahamowanie procesu i pozwala osteoblastom na odbudowę utraconych tkanek (37, 38).

KLASYFIKACJE

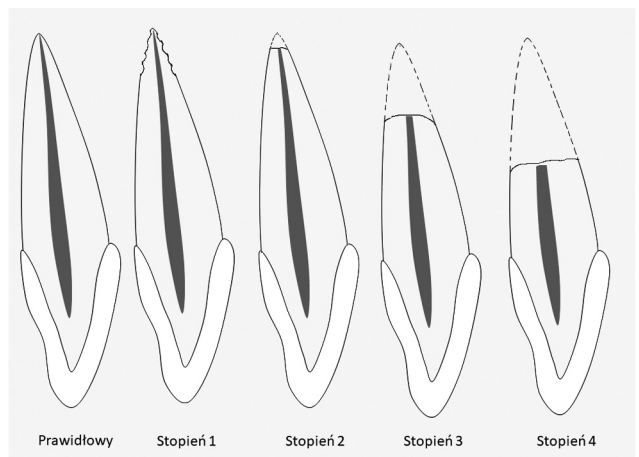
Procesy resorpcyjne spowodowane leczeniem ortodontycznym są ujęte w klasyfikacjach w zależności od: zaawansowania histologicznego (patomorfologicznego), umiejscowienia, stopnia utraty wierzchołkowej części twardych tkanek korzenia zęba lub głębokości ubytku.

OIIRR najczęściej dotyczy wierzchołka korzenia lub okolicy przyszyjkowej. W zależności od histologicznego zaawansowania procesu wyróżnia się trzy stopnie OIIRR (11, 39):

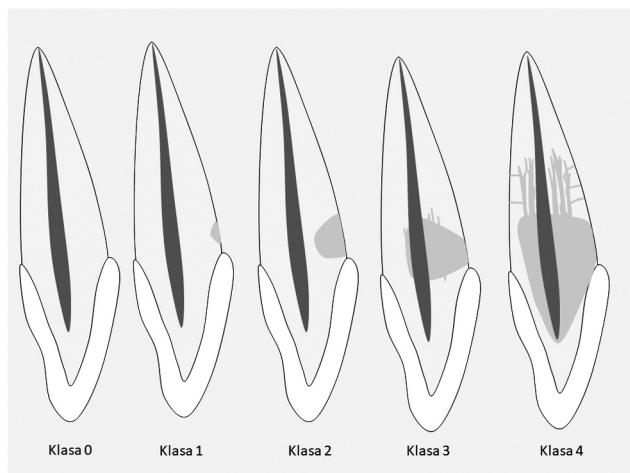
- powierzchnię resorpcję cementu korzeniowego z jego przebudową – remodelingiem. Resorpcja obejmuje zewnętrzne warstwy cementu, który następnie zostaje odbudowany. Proces ten jest podobny do przebudowy kości beleczkowej,
- głęboką resorpcję cementu i zębiny z naprawą tkanek – proces resorpcyjny obejmuje cement korzeniowy i zewnętrzne warstwy zębiny. W fazie odbudowy powstałe ubytki uzupełniane są cementem. Kształt wierzchołka korzenia może ulec zmianie lub powrócić do kształtu pierwotnego,

- okrężną resorpcję wierzchołkową – resorpcja obejmuje twarde tkanki wierzchołka korzenia, co w efekcie powoduje jego skrócenie.

Resorpcja wierzchołka korzenia jest procesem rozwijającym się w trakcie aktywnej fazy leczenia ortodontycznego i skutkuje utratą długości korzenia. Levander i Malmgren (40) zaproponowali podział ze względu na stopień utraty długości korzenia (ryc. 1). Resorpcja szyjkowa jest natomiast późnym powikłaniem leczenia ortodontycznego (41). Heithersay (38) zaproponował podział opisujący cztery klasy resorpcji szyjkowej (ryc. 2). Wykrywalność tego procesu jest zmniejszona ze względu na brak regularnych badań radiologicznych pacjentów w fazie retencji po zakończonym aktywnym leczeniu ortodontycznym. Objawem klinicznym jest różowe zabarwienie korony zęba (38, 41).



Ryc. 1. Klasyfikacja resorpcji zewnętrznej korzenia wg Lavender i Malmgren



Ryc. 2. Klasyfikacja resorpcji szyjkowej wg Heithersay

METODY DIAGNOSTYCZNE

Ważny element leczenia ortodontycznego stanowi diagnostyka radiologiczna, ponieważ wczesne wykrycie resorpcji korzeni jest kluczowe dla dalszego przebiegu leczenia. Największe znaczenie diagnostyczne ma tomografia komputerowa wiązką stożkową CBCT (ang. *cone beam computed tomography*) (41). Wiele badań naukowych potwierdza skuteczność i przewagę CBCT nad zdjęciami zębowymi i pantomogramami (3, 34, 42, 43).

Diagnostyka resorpcji korzenia może być trudna i stanowić duże wyzwanie dla lekarza dentysty i ortodonty. Resorpcja indukowana leczeniem ortodontycznym może dotyczyć każdej powierzchni wierzchołka korzenia. Powszechnie stosowane zdjęcia zębowe oraz pantomograficzne (18) nie pozwalają na precyzyjną ocenę, gdyż proces ten może dotyczyć zarówno powierzchni policzkowej, jak i podniebiennej korzenia, czyli powierzchni trudnych lub niemożliwych do oceny w badaniu dwuwymiarowym. Obliczenia polegające na odjęciu (subtrakcji) długości korzenia lub całego zęba przed leczeniem i po nim nie jest dokładne i może wykazywać zmiany (skrócenie lub

wydłużenie) w zależności od zmiany kąta ustawienia lampy rentgenowskiej lub głowy pacjenta (44). Na dokładność pomiarów mają wpływ także anatomia pacjenta, umiejętności wykonującego badanie, a także parametry techniczne urządzenia. Badacze próbowali osiągnąć efekt uwidocznienia wszystkich powierzchni korzenia na zdjęciach zębowych za pomocą wykonywania projekcji pod różnymi kątami (16, 28). Niestety technika ta nie jest powtarzalna, nawet na zdjęciach wykonywanych techniką kąta prostego, co sprawia, że nie można dokonać wiarygodnych pomiarów ani dokładnie ocenić powierzchni korzenia dotkniętego resorpcją (2, 37). Zdjęcia dwuwymiarowe umożliwiają stwierdzenie jedynie resorpcji umiarkowanej i ciężkiej.

Natomiast badania pantomograficzne ze względu na zniekształcenia będące nieodłączną cechą tej techniki obrazowania znacznie utrudniają dokładną ocenę zaawansowania procesu resorpcji korzenia (44).

Coraz częściej używaną metodą diagnostyczną w stomatologii jest tomografia komputerowa wiązką stożkową. Pozwala na wykrycie resorpcji na wszystkich powierzchniach korzenia zęba, dzięki wizualizacji trójwymiarowej eliminacji nakładania się struktur typowego dla metod dwuwymiarowych (42). Yi i wsp. przeprowadzili systematyczny przegląd dostępnych badań *in vitro*, porównując dokładność diagnostyczną CBCT i zdjęć zębowych w celu wykrycia zmian resorpcyjnych, w którym potwierdzili znaczącą przewagę CBCT (3) (tab. 3). Przypadki kliniczne przedstawiono na rycinach 3-10.

PODSUMOWANIE

Resorpcja korzeni zębów po leczeniu ortodontycznym jest powikłaniem trudnym do uniknięcia. Ciężka resorpcja wierzchołka korzenia dotyczy 1-10% pacjentów (18, 25), łagodna – około 48-66% (2). Dwuwymiarowe badania radiologiczne obciążone są dużymi błędami przy dokonywaniu pomiarów, ich zaletą jest niższa dawka promieniowania niż w CBCT. Tomografia komputerowa wiązką stożkową nie jest jeszcze „złotym standardem”

Tab. 3. Różnice pomiędzy metodami radiologicznymi

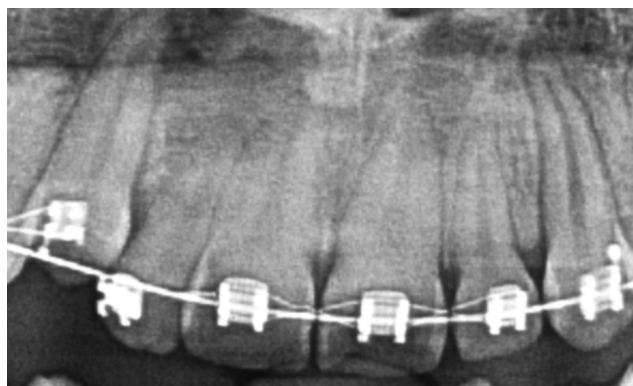
Zdjęcie zębowe	Pantomogram	CBCT
– dwuwymiarowe – zdjęcie wybranej okolicy wykonane techniką kąta prostego może być powtarzalne – pomiar nie jest precyzyjny – nakładanie się struktur	– dwuwymiarowe – zdjęcie przeglądowe – nakładanie się struktur – zdjęcia nie są powtarzalne – ortodontyczne przechylenie lub wychylenie jest przyczyną niewłaściwych pomiarów – obraz może uwidaczniać skrócone lub wydłużone korzenie	– wielowymiarowe – możliwa jest ocena każdej badanej powierzchni – powtarzalność – wysoka rozdzielczość obrazu – pomiary są dokładne – uwidocznione są wszystkie struktury korzenia wraz z otaczającymi tkankami – duża dawka promieniowania



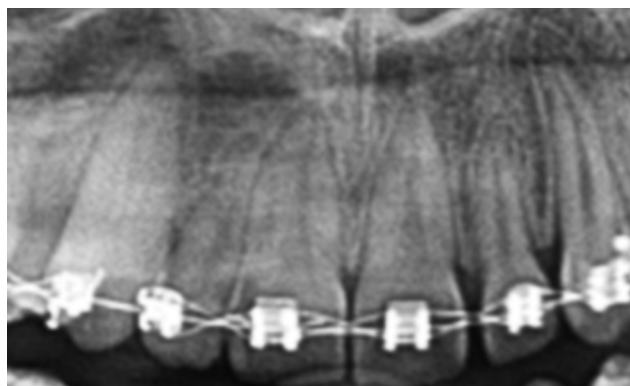
Ryc. 3. Pacjent po leczeniu zgryzu otwartego. Widoczne krótkie nieregularnego kształtu wierzchołki korzeni siekaczy górnych



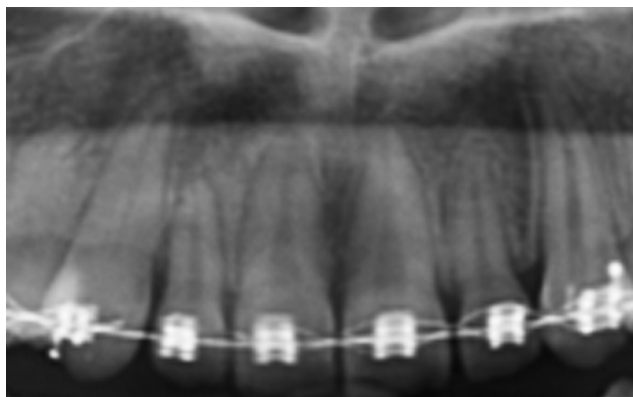
Ryc. 4. Pacjent po leczeniu techniką intruzyjną z retrakcją odcinka przedniego. Widoczny nieregularny wierzchołek korzenia zęba 12



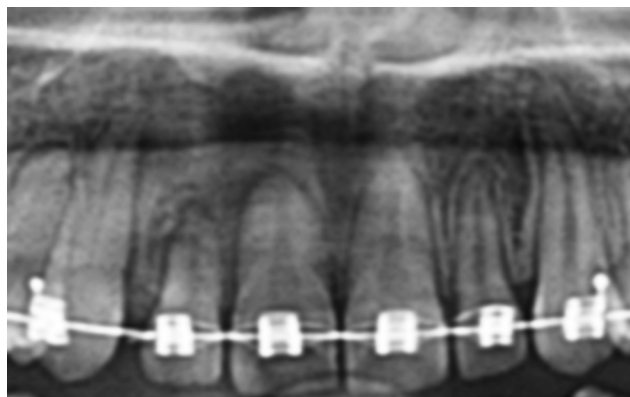
Ryc. 5. Pacjent po leczeniu techniką intruzyjną z retrakcją odcinka przedniego. Widoczny nieregularny wierzchołek korzenia zęba 12



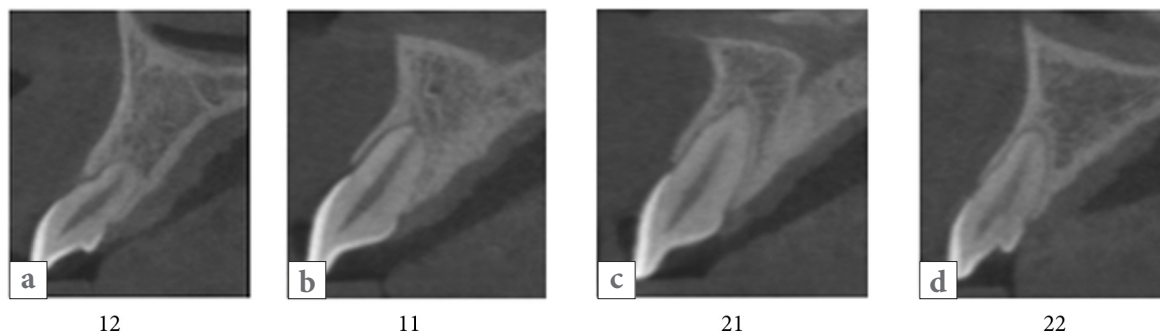
Ryc. 6. Wycinek pantomogramu.1.5 roku po założeniu aparatu. Obraz okolicy wierzchołka korzenia zęba 12 jest niejednoznaczny



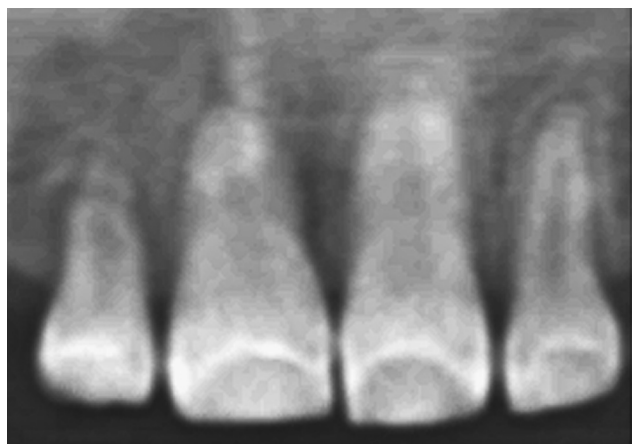
Ryc. 7. Korzenie zębów 12-22 bez zmian.



Ryc. 8. Obraz zębów 12-22 w 2.5 roku po rozpoczęciu leczenia. Widoczne znaczne zmiany w kształcie i długości korzeni



Ryc. 9a-d. Skany CBCT po zdjęciu aparatu. Widoczne krótkie korzenie zębów 12-22



Ryc. 10. Wycinek pseudopantomogramu. W porównaniu z ryc. 5 można zauważyć znaczną zmianę w długości i kształcie korzeni zębów 12-22

w badaniach diagnostycznych przed leczeniem ortodontycznym, ale jako jedyna daje obraz całości badanej okolicy. Umożliwia stwierdzenie nieprawidłowości i patologii niewidocznych na konwencjonalnych radiogramach. Pozwala ocenić ryzyko podczas leczenia i ustalić najlepszy plan leczenia ortodontycznego. Wykrycie resorpcji korzenia ma także istotne znaczenie przed planowanym leczeniem endodontycznym lub protetycznym u pacjentów leczonych wcześniej ortodontycznie, gdyż uszkodzenie powierzchni korzenia może mieć znaczenie dla rokowania zęba. Stąd pełna diagnostyka ze szczególnym uwzględnieniem obrazowania CBCT ma istotne znaczenie kliniczne. Wielu autorów zwraca szczególną uwagę na konieczność poinformowania pacjenta przed leczeniem ortodontycznym oraz w trakcie jego trwania o możliwości wystąpienia efektów ubocznych w postaci resorpcji korzeni (2, 39, 41).

KONFLIKT INTERESÓW

Brak konfliktu interesów

ADRES DO KORESPONDENCJI

*Kazimierz Szopiński
Zakład Radiologii Stomatologicznej
i Szczękowo-Twarzowej
Wydział Lekarsko-Dentystyczny
Warszawski Uniwersytet Medyczny
ul. Nowogrodzka 59, 02-006 Warszawa
tel.: +48 (22) 502-12-72
kszopinski@wum.edu.pl

PIŚMIENNICTWO

1. Wnęk A, Zarzecka J: Resorpcja zapalna wewnętrzna i zewnętrzna w zębie trzonowym. *Edentico* 2013; 3(43): 38-43.
2. Tieu LD, Saltaji H, Normando D, Flores-Mir C: Radiologically determined orthodontically induced external apical root resorption in incisors after non-surgical orthodontic treatment of class II division 1 malocclusion: a systematic review. *Prog Orthod* 2014; 15: 15-48.
3. Yi J, Sun Y, Li Y et al.: Cone-beam computed tomography versus periapical radiograph for diagnosing external root resorption: A systematic review and meta-analysis. *Angle Orthod* 2017; 87(2): 328-337.
4. Harokopakis-Hajishengallis E: Physiological root resorption in primary teeth: molecular and histological events. *J Oral Sci* 2007; 49(1): 1-12.
5. Barańska-Gachowska M, Postek-Stefańska L: Endodoncja wieku rozwojowego i dojrzałego. Wyd. 2. Czelej, Lublin 2011: 480.
6. Jańczuk Z: Stomatologia zachowawcza. [W:] Jańczuka Z (red.): Zarys kliniczny. Wyd. 3. PZWL, Warszawa 2006: 456-462.
7. Melo NM, Oliveira LJ, Cardoso CAA et al.: Pink Spot with an Internal Resorption: Case Report. *J Dent Health Oral Disord Ther* 2017; 8(3): 00284.
8. Jasiński P, Sobiech P, Korporowicz E: Resorpcja zewnętrzna korzenia spowodowana urazem – opis przypadku. *Nowa Stomatol* 2011; 4: 158-162.

9. Robel W, Dunin-Wilczyńska I, Dobrowolska-Zarzycka M, Robel U: Ciężka resorpcja siekacza bocznego i przyśrodkowego w szczęcie spowodowana przez kiel zatrzymany. Opis przypadku i przedstawienie wyniku trzynastomiesięcznej obserwacji. *Forum Ortod* 2012; 8: 196-206.
10. Prażmo E, Mielczarek A: Aktualne koncepcje etiologii i terapii resorpcji zębów. *Nowa Stomatol* 2014; 1: 53-58.
11. Brezniak N, Wasserstein A: Ortodontically induced inflammatory root resorption. Part I: the basic science aspects. *Angle Orthod* 2002; 72: 175-179.
12. Eveson JW, Gibb DH: Multiple idiopathic internal resorption. *Br Dent J* 1989; 21(2): 49-50.
13. Ottolengui R: The physiological pathological resorptions of tooth roots. *Dent. Items of Interest* 1914; 36: 332-362.
14. Ketcham AH: A preliminary report of an investigation of apical root resorption of permanent teeth. *International Journal of Orthodontia, Oral Surgery and Radiography* 1927; 13: 97-127.
15. Thomas E: An evaluation of external apical root resorption after orthodontic treatment. Conference paper 2010. Presented at the 45th Indian Orthodontic Conference, 17th-19th December, Mangalore, India.
16. Brezniak N, Goren S, Zoizner R et al.: A Comparison of Three Methods to Accurately Measure Root Length. *Angle Orthod* 2004; 74: 786-791.
17. Vlaskalic V, Boyd RL, Baumrind S: Etiology and sequelae of root resorption. *Semin Orthod* 1998; 2: 124-131.
18. Topkara A, Karaman AI, Kau CH: Apical root resorption caused by orthodontic forces: A brief review and a long-term observation. *Eur J Dent* 2012; 6: 445-453.
19. Hartsfield JK Jr: Pathway in external apical root resorption associated with orthodontia. *Orthod Craniofac Res* 2009; 12(3): 236-242.
20. Sameshima GT, Sinclair PM: Predicting and preventing root resorption: Part I. Diagnostic factors. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2001; 119: 505-510.
21. Kjaer I: External root resorption: Different etiologies explained from the composition of the human root – close periodontal membrane. *Dent Hypotheses* 2013; 4: 75-79.
22. Smith NH: Monostotic Paget's disease of the mandible presenting with progressive resorption of the teeth. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol* 1978; 46: 226-253.
23. Kjaer I, Nielsen MH, Skovgaard LT: Can persistence of primary molars be predicted in subjects with multiple tooth agenesis? *Eur J Orthod* 2008; 30: 249-253.
24. Malmgren O, Goldson L, Hill C, Orwin A et al.: Root resorption after orthodontic treatment of traumatized teeth. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 1982; 82: 487-491.
25. Weltman B, Vig KL, Fields HW et al.: Root resorption associated with orthodontic tooth movement: A systematic review. *Am J Orthod Dentofac Orthop* 2010; 137: 462-476.
26. Linge BO, Linge: Apical root resorption in upper anterior teeth. *Eur J Orthod* 1983; 5: 173-183.
27. Maués CP, do Nascimento RR, Vilella Ode V: Severe root resorption resulting from orthodontic treatment: prevalence and risk factors. *Dental Press J Orthod* 2015; 20(1): 52-58.
28. Sameshima GT, Asgarifar KO: Assessment of root resorption and root shape: periapical vs panoramic films. *Angle Orthod* 2001; 71: 185-189.
29. Levander E, Malmgren O, Eliasson S: Evaluation of root resorption in relation to two orthodontic treatment regimens: A clinical experimental study. *Eur J Orthod* 1994; 16: 223-228.
30. Motokawa M, Terao A, Kaku M et al.: Open bite as a risk factor for orthodontic root resorption. *Eur J Orthod* 2013; 35: 790-795.
31. Matsuda Y, Motokawa M, Kaku M et al.: RANKL and OPG expression: Jiggling force affects root resorption in rats. *Angle Orthod*. 2017; 87: 41-48.
32. Eross E, Turku T, Elekdag-Turku S et al.: Physical properties of root cementum: Part 25. Extent of root resorption after the application of light and heavy buccopalatal jiggling forces for 12 weeks: A microcomputed tomography study. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2015; 147(6): 738-746.
33. Martins DR, Tibola D, Janson G, Maria FRT: Effects of intrusion combined with anterior retraction on apical root resorption. *Eur J Orthod* 2012; 34(2): 170-175.
34. Kowalska E, Klimek L, Śmiech-Słomkowska G: Resorpcje korzeni po leczeniu ortodontycznym; stosunek szerokości do długości zęba. *Forum Ortod* 2001; 7: 185-191.

35. Chiqueto K, Martins DR, Janson G: Effects of accentuated and reversed curve of Spee on apical root resorption. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2008; 133(2): 261-268.
36. Fiore AA, Aquila AG, Ubios AM: Root resorption in deciduous teeth after applying orthodontic forces. *J Clin Pediatr Dent* 2005; 29(4): 283-286.
37. Kowalczyk K, Wójcicka A, Iwanicka-Grzegorek E: Resorpcja zewnętrzna twardych tkanek zęba i kości wyrostka żębodołowego – patomechanizm powstawania. *Nowa Stomatol* 2011; 4: 170-174.
38. Heithersay GS: Invasive cervical resorption: an analysis of potential predisposing factors. *Quintessence Int* 1999; 30(2): 83-95.
39. Brezniak N, Wasserstein A: Ortodontically induced inflammatory root resorption. Part II: The clinical aspects. *Angle Orthod* 2002; 72: 180-184.
40. Levander E, Malmgren O: Evaluation of the risk of root resorption during orthodontic treatment: a study of upper incisors. *Eur J Orthod* 1988; 10(1): 30-38.
41. Lunardi D, Becavini T, Gambiez A et al.: Orthodontically induced inflammatory root resorption: apical and cervical complications. *J Dentofacial Anom Orthod* 2013; 16(102): 1-15.
42. Lund H, Gröndahl K, Gröndahl HG: Cone Beam Computed Tomography for Assessment of Root Length and Marginal Bone Level during Orthodontic Treatment. *Angle Orthod* 2010; 80: 466-473.
43. Lima TF, Gamba TO, Zaia AA et al.: Evaluation of cone beam computed tomography and periapical radiography in the diagnosis of root resorption. *Aus Dent J* 2016; 61: 425-431.
44. Kitai N, Murabayashi M, Sugimoto H et al.: Accuracy and head positioning effects on measurements of anterior tooth length using 3-dimensional and conventional dental panoramic radiography. *Am J Orthod Dentofacial Orthop* 2017; 151: 607-615.

nadesłano:

28.03.2018

zaakceptowano do druku:

01.04.2019