

Wpływ procedur endodontycznych na własności mechaniczne zębiny korzeniowej – przegląd piśmiennictwa

The impact of endodontic procedures on mechanical properties of root dentine – a literature review

¹Doctoral student at the Department of Conservative Dentistry, Medical University of Warsaw

Head of Department: Agnieszka Mielczarek, DMD, PhD

²Department of Conservative Dentistry, Medical University of Warsaw

Head of Department: Agnieszka Mielczarek, DMD, PhD

SŁOWA KLUCZOWE

leczenie endodontyczne,
zębina korzenia, mikrotwardość,
chropowatość, wytrzymałość na zginanie

STRESZCZENIE

Jednym z celów leczenia endodontycznego jest eliminacja bakterii i ich toksyn z przestrzeni wewnątrzkanalowej i zębiny korzeniowej. Jest to możliwe poprzez wdrożenie odpowiednich procedur, takich jak: mechaniczne poszerzenie światła kanału z zachowaniem jego pierwotnego przekroju i przebiegu, chemiczne opracowanie ścian środkami płuczącymi oraz szczelna, ostateczna odbudowa części koronowej. Czynności związane z leczeniem kanałowym nie pozostają obojętne dla biomechanicznych właściwości tkanek zęba. Prognoza leczenia kanałowego jest zależna nie tylko od efektywności oczyszczania ścian kanałów korzeniowych, ale również od ilości i jakości pozostawionych tkanek zęba. Czynniki mogące osłabiać ząb jest uzyskanie dostępu do kanałów korzeniowych, ich mechaniczne opracowanie oraz aplikacja chemicznych środków leczniczych. Ciągły postęp technologiczny zwiększa dostęp do nowych narzędzi endodontycznych i preparatów dezynfekujących. Jak dotąd dysponujemy jednak ograniczoną wiedzą na temat ich wpływu na właściwości mechaniczne zębiny korzeniowej. Różnice obserwowane pomiędzy systemami mogą mieć istotny wpływ nie tylko na ilość skrawanej zębiny, ale również na naprężenia powstające w kanale i mikropeknięcia zębiny. W pracy zaprezentowano przegląd aktualnych doniesień na temat wpływu wybranych procedur endodontycznych na charakterystykę twardych tkanek zęba. Wiedza w tym zakresie jest istotnym elementem planowania rekonstrukcji zębów po leczeniu kanałowym.

KEYWORDS

root canal treatment, root dentine,
microhardness, roughness, flexural
strength

SUMMARY

One of the purposes of root canal treatment is the elimination of the bacteria and their toxins from the intracanal space and root dentine. It is possible through the implementation of appropriate procedures, i.e.: mechanical extension of the canal in its crown, central and periapical part with maintenance of the original section and course, a chemical working of the walls using rinse agents and tight final reconstruction of the crown part. The actions connected with endodontic treatment are not neutral for the biomechanical properties of the tooth tissue. The prognosis of the root canal treatment is dependent not only on the efficiency of cleaning the walls of the root canals, but also on the number and quality of the left dentine tissue. The factors that can weaken the tooth are access to the root-canal, its mechanical preparation and the application of intracanal medicaments. Continuous technological progress increases access to new endodontic instruments and disinfectants. However, we have limited knowledge of their effects on the mechanical

properties of the root dentine. The differences between the systems can have a significant impact not only on the number of the cut dentine but also the tension in the canal that can cause microcracks of the dentine. This study presents a review of current literature on the impact of selected endodontic procedures on the characteristics of the tooth hard tissue. This knowledge is an essential element of planning the reconstruction of teeth after root canal treatment.

WSTĘP

Leczenie endodontyczne stanowi alternatywę dla chirurgicznych metod leczenia zębów objętych stanami zapalnymi miążgi lub zmianami w tkankach okołowierzchołkowych. Zachowanie wystarczającej ilości tkanek twardych po zakończeniu procedur endodontycznych jest czynnikiem niezbędnym dla zapewnienia długoczasowej odbudowy części koronowej zęba. Warunkiem powodzenia leczenia kanałowego jest wdrożenie odpowiednich procedur, takich jak: mechaniczne poszerzenie kanału w jego części koronowej, środkowej i wierzchołkowej z zachowaniem jego pierwotnego przekroju i przebiegu, chemiczne opracowanie ścian środkami płuczącymi oraz szczelna, ostateczna odbudowa części koronowej. Bez względu na wybór technik wspomnianych procedur, nie pozostają one obojętne dla biomechanicznych właściwości tkanek zęba, a złamania zębów po leczeniu endodontycznym są trzecią co do częstości przyczyną utraty zębów, po próchnicy i chorobach przyzębia (1).

W opinii lekarzy praktyków, ząb po leczeniu endodontycznym ma ograniczony zrąb tkanek twardych, jest bardziej kruchy i podatny na złamania (2). Wpływ na ten fakt ma m.in. utrata tkanek i zmiana ich właściwości w przebiegu procedur endodontycznych. Czynności związane z uzyskaniem dostępu do kanałów, tj.: zniesienie sklepienia komory zęba oraz wykonanie poszerzenia części dokomorowej kanału, to utrata ok. 25% twardych tkanek zęba (3). Stosowanie środków leczniczych zmniejsza mikrotwardość zębiny o 20-27% (4), a użycie związków chelatujących o 50% (5).

Dzięki prawdziwej rewolucji, która dokonała się w zakresie sprzętu i procedur endodontycznych na przestrzeni ostatnich 100 lat, istnieje możliwość wyboru wielu instrumentów spośród szerokiej gamy narzędzi ze stali nierdzewnej, narzędzi NiTi, pilników pracujących ruchami oscylacyjnymi, rotacyjnymi lub dopasowujących się do kształtu kanału. Różnice obserwowane pomiędzy systemami mogą mieć istotny wpływ nie tylko na ilość skrawanej zębiny, ale również na powstające w kanale naprężenia i mikropęknięcia zębiny (6, 7).

Wprowadzenie na rynek pilników maszynowych znacznie zwiększyło wydajność i komfort pracy lekarzy. Pilniki maszynowe, ze względu na zwiększoną stożkowatość, mają podczas pracy kontakt z większą powierzchnią ścian kanałów. Zwiększone pole powierzchni pracy narzędzi może jednak wpływać negatywnie na parametry wytrzymałościowe zębiny korzeniowej.

INTRODUCTION

Endodontic treatment constitutes an alternative to surgical methods of teeth treatment, which are covered by the inflammation of the pulp or lesions in the periapical tissues. Maintaining a sufficient amount of hard tissue following the end of endodontic procedures is a necessary factor to ensure long-term reconstruction of the crown part of the tooth. The condition for success of canal treatment is the implementation of appropriate procedures, i.e.: mechanical canal dilation in its crown part, central part and apex along with preserving its primary section and course, chemical preparation of the walls with rinsing agents and tight, final restoration of the crown part. Regardless of the selection of the techniques of the mentioned procedures, they do not remain neutral for the biomechanical properties of tooth tissues and breaking the tooth following endodontic treatment are third most common reason for tooth loss, right after caries and periontium diseases (1).

In the opinion of practitioners, a tooth following endodontic treatment has a limited hard tissue stroma, is more brittle and susceptible to breaking (2). The following have an impact on the fact: loss of tissues and change in their properties in the course of endodontic procedures. Actions related to obtaining an access to canals, i.e.: opening the roof of the pulp cavity and performing dilation of the part leading to the cavity of the canal means the loss of approx. 25% of hard tooth tissues (3). The use of medicinal products reduces microhardness of the dentine by 20-27% (4) and the use of chelating agents by 50% (5).

Owing to a real revolution that took place in the field of endodontic devices and procedures within the last 100 years, there is a possibility to select many instruments from among a wide range of stainless steel tools, NiTi tools, oscillatory files, rotary files or the ones adjusting to the shape of the canal. Differences observed between the systems may have a significant impact not only on the amount of processed dentine, but also the tension created in the canal and microcracks of the dentine (6, 7).

Marketing machine files has significantly increased the efficiency and comfort of a doctor's job. Machine files, owing to increased taper, come into contact with a larger area of the canal walls while working. Increased working area may, however, have an adverse impact on the strength parameters of the root dentine.

UDZIAŁ PILNIKÓW MASZYNOWYCH I RĘCZNYCH W OBNIŻENIU PARAMETRÓW WYTRZYMAŁOŚCIOWYCH ZĘBINY KORZENIOWEJ

Ashwinkur i wsp. badali powstawanie mikropeknięć w zębiny korzeniowej pierwszych zębów trzonowych żuchwy po użyciu 4 grup narzędzi: pilników ręcznych ProTaper i K-files NiTi oraz pilników maszynowych Wave One i ProTaper (8). Grupę kontrolną stanowiły zęby niepoddane leczeniu kanałowemu. Po opracowaniu korzenie podzielono na trzy równe części i poddano obserwacji w elektronowym mikroskopie skaningowym (SEM). W grupie kontrolnej oraz w grupie korzeni opracowanych pilnikami ręcznymi K-files NiTi nie zaobserwowano mikropeknięć w obrębie zębiny. W każdej z pozostałych grup powstały zmiany w zębiny korzeniowej w postaci mikropeknięć, w każdym z ocenianych fragmentów korzenia. Znacząco więcej defektów w zębiny zaobserwowano po użyciu pilników rotacyjnych ProTaper (8).

Podobne wyniki badań uzyskali Liu i wsp., porównując pilniki maszynowe i ręczne (9). Autorzy poddali badaniu 240 zębów siecznych żuchwy, które przed preparacją podzielili na 12 grup. Do analizy wybrano 3 rodzaje pilników: pilniki rotacyjne K3 i ProTaper oraz pilniki ręczne NiTi flex K-files. Kanały poddano preparacji na 4 różnych długościach: do otworu wierzchołkowego, 1 mm przed otworem wierzchołkowym, 2 mm przed otworem wierzchołkowym oraz 1 mm poza otworem wierzchołkowym. W mikroskopie stereoskopowym obserwowano obszar apikalny korzeni. Mikropeknięcia zaobserwowano w 1 na 80 zębów opracowanych narzędziami ręcznymi oraz w 31 na 160 zębów opracowanych narzędziami rotacyjnymi. Instrumentacja na odległość krótszą o 1 i 2 mm od odległości do otworu wierzchołkowego generowała mniej defektów zębiny w porównaniu z pozostałymi protokołami preparacji.

Badania w zakresie cech wytrzymałościowych zębiny kontynuowali Celik i wsp. (10). Autorzy oceniali odporność na złamanie zębów leczonych endodontycznie przy użyciu pilników maszynowych ProTaper Universal i Profile oraz pilników ręcznych flex K-files. Analizie poddano 112 dwukorzeniowych zębów przedtrzonowych. Zostały one podzielone na 2 grupy w zależności od długości roboczej: 14 i 16 mm, a następnie na 3 podgrupy, z których każda opracowywana była innym rodzajem pilnika. Odporność na złamanie została zmierzona z użyciem maszyny wytrzymałościowej Lloyd Instruments, Fareham, przy prędkości przesuwu 1 mm/min. Najniższą wytrzymałość na złamanie prezentowała grupa opracowana pilnikami maszynowymi ProTaper na długości roboczej 16 mm.

POWSTAWANIE MIKROPEKNIĘĆ W ZĘBINIE KORZENIOWEJ W ZALEŻNOŚCI OD SPOSOBU PRACY NARZĘDZI MASZYNOWYCH

W piśmiennictwie dostępne są również wyniki badań porównawczych, w których oceniono własności biome-

THE SHARE OF MACHINE AND MANUAL FILES IN LOWERING STRENGTH PARAMETERS OF ROOT DENTINE

Ashwinkur et al. have studied the creation of microcracks in the root dentine of the first molars in the mandible following the use of 4 groups of tools: hand files ProTaper and K-files NiTi and machine files Wave One and ProTaper (8). Control group were teeth subject to canal treatment. After preparing, the roots were divided into three even parts and subject to observation in a Scanning Electron Microscope (SEM). In the control group and the group of roots prepared with hand K-files NiTi, there were no microcracks observed within the dentine. In all the remaining groups, there were lesions in the root dentine in the form of microcracks, in every out of the assessed root fragments. Far more defects in the dentine were observed having used rotary files ProTaper (8).

Similar results of studies were obtained by Liu et al. comparing machine and hand files (9). The authors have carried out studies on 240 incisor teeth of the mandible, which prior to the preparation were divided into 12 groups. 3 types of files were selected for analysis: rotary files K3 and ProTaper and hand NiTi flex K-files. Canals were subjected to preparation on four various lengths: to the apex opening, 1 mm before the apex opening, 2 mm before the apex opening and 1 mm out of the apex opening. The application area of the roots was observed in a stereoscopic microscope. Microcracks were observed in 1 out of 80 teeth prepared with the use of manual tools and 31 out of 160 teeth prepared with the use of rotary tools. Instrumentation at the distance shorter by 1 mm and 2 mm from the distance to the apex opening generated less defects in the dentine as compared with the remaining preparation protocols.

Studies in the field of strength properties of the dentine were continued by Celik et al. (10). The authors assessed resistance to breaking of teeth treated endodontically with the use of machine files ProTaper Universal and Profile and manual flex K-files. The analysis covered 112 two-root premolar teeth. They were divided into 2 groups depending on the working length: 14 and 16 mm, and later into 3 subgroups, each of which was prepared with the use of a different kind of file. Resistance to breaking was measured with the use of a testing machine Lloyd Instruments, Fareham, with the speed of feed 1 mm/min. The lowest resistance was presented by the group prepared with machine files ProTaper at the working length 16 mm.

THE CREATION OF MICROCRACKS IN THE ROOT DENTINE DEPENDING ON THE MANNER OF MACHINE TOOLS OPERATION

Literature contains also comparative studies results, which assessed the biomechanical properties of the

chaniczne zębiny w zależności od sposobu pracy narzędzi endodontycznych – ruchy oscylacyjne czy rotacyjne. Ravi i wsp. (11) badali w warunkach *in vitro* zęby przedtrzonowe żuchwy. W badaniu użyto pilników maszynowych Reciproc, Wave One, ProTaper Universal, ProTaper Next. Korzenie zębów pocięte na 3 równe części obserwowano w mikroskopie stereoskopowym. Pilniki Reciproc i Wave One generowały zdecydowanie mniej pęknięć w porównaniu z pilnikami ProTaper, a różnice były istotne statystycznie. Podobne wyniki uzyskano w badaniach Jalali i wsp. (12) oraz Monga i wsp. (13). W pierwszym badaniu porównywano pilnik Reciproc, ProTaper Universal i Mtwo, natomiast w drugim pilniki Wave One, ProTaper i K3XF. Analiza obrazów mikroskopowych wykonana w obu badaniach wykazała, że pilniki pracujące ruchami oscylacyjnymi generowały mniej pęknięć na powierzchni zębiny korzeniowej w porównaniu z pilnikami rotacyjnymi, a różnice były istotne statystycznie.

Badania Kansal i wsp. (14) potwierdziły zdecydowanie mniej jatrogeny wpływ na zębinę korzeniową ruchów oscylacyjnych w porównaniu z ruchami rotacyjnymi. Autorzy badali zęby przedtrzonowe żuchwy. Kanały opracowywano pilnikami Wave One, pilnikami ProTaper, w standardowej sekwencji do pilnika F2 w ruchu rotacyjnym oraz pilnikiem F2 ProTaper pracującym w ruchu oscylacyjnym. W grupie, w której zastosowano pilniki ProTaper w ruchu rotacyjnym, pęknięcia obserwowano w 53% przypadków, w grupie, w której stosowano F2 ProTaper w ruchu oscylacyjnym – w 26% przypadków, w grupie, w której używano pilniki Wave One – w 15% przypadków. W grupie kontrolnej nie znaleziono mikropęknięć.

WPLYW ŚRODKÓW DEZYNFEKCYJNYCH NA PARAMETRY WYTRZYMAŁOŚCIOWE ZĘBINY KORZENIOWEJ

Innym aspektem mogącym wpływać negatywnie na parametry wytrzymałościowe zębiny korzeniowej może być procedura dezynfekcji kanałów korzeniowych. Patil i wsp. (15) badali wpływ środków płuczających na mikrotwardość zębiny i chropowatość jej powierzchni. Badaniu poddano 120 usuniętych stałych siekaczy nieobjętych procesem próchnicowym. Korzenie separowano od korony, a następnie dzielono na dwie równe części. Przygotowano 240 próbek, które podzielono na 6 grup poddanych 15-minutowemu działaniu następujących środków płuczających: 5% NaOCl, 2,5% NaOCl, 3% H₂O₂, 17% EDTA, 0,2% CHX, woda destylowana. Badania wykonane z użyciem mikrotwardościomierza Vickersa wykazały, że jedynie użycie CHX nie wpłynęło istotnie na spadek twardość zębiny korzeniowej. Największe obniżenie tego parametru odnotowano natomiast po zastosowaniu 2,5% NaOCl. Ocena profilu powierzchni zębiny wykazała znaczący wpływ wszystkich stosowanych preparatów na wzrost jej chropowatości w porównaniu z grupą kontrolną. Największy wzrost chropowatości zaobserwowano po użyciu 17% EDTA.

dentine depending on the manner of endodontic tools operation – oscillatory or rotary movements. Ravi et al. (11) studied the premolar teeth of the mandible under *in vitro* conditions. The study utilised machine files Reciproc, Wave One, ProTaper Universal, ProTaper Next. The roots of the teeth cut into 3 even parts were subject to observation in a stereoscopic microscope. Reciproc and Wave One files generated far fewer cracks compared to ProTaper files and the differences were of statistical importance. Similar results were obtained in the studies of Jalali et al. (12) and Monga et al. (13). The first study compared Reciproc, ProTaper Universal and Mtwo files, while the other one Wave One, ProTaper and K3XF files. The analysis of microscopic images in both the studies showed that the files working in oscillatory movements generated fewer cracks on the surface of the root dentine as compared to rotary files and the differences were of statistical importance.

The studies of Kansal et al. (14) confirmed the far less iatrogenic impact on the root dentine of oscillatory movements compared with rotary ones. The authors studied premolar teeth of the mandible. Canals were prepared with Wave One, ProTaper files in the standard sequence for F2 file in rotary movement and F2 ProTaper file operating in oscillatory movement. The group used ProTaper files in rotary movement, cracks were subject to observation in 53% of the cases, in the group using F2 ProTaper in oscillatory movement in 26% of the cases and in the group using Wave One files in 15% of the cases. The control group had no microcracks found.

IMPACT OF DISINFECTANTS ON STRENGTH PARAMETERS OF THE ROOT DENTINE

Another aspect that may have an adverse impact on the strength parameters of the root dentine may be the disinfection procedure of the root canals. Patil et al. (15) studied the impact of rinsing agents on microhardness of the dentine and the roughness of its surface. Study covered 120 extracted permanent incisors not covered by caries. The roots were separated from the crown, later divided into two even parts. 240 specimens were prepared and divided into 6 groups subjected to 15-minute operation of the following rinsing agents: 5% NaOCl, 2.5% NaOCl, 3% H₂O₂, 17% EDTA, 0.2% CHX, distilled water. The study carried out with the use of microhardness testing machine by Vickers showed that only the use of CHX had no significant impact on the decrease in the root dentine hardness. The greatest decrease in that parameter was recorded following the use of 2.5% NaOCl. Assessment of the surface profile of the dentine showed a significant impact of all the used preparations on the increase in its coarseness as compared with the control group. The greatest increase in the coarseness was observed with the use of 17% EDTA.

Parametry wytrzymałościowe zębiny korzeniowej podanej chemicznej procedurze płukania badali również Marcelino i wsp. (16). Autorzy ocenili wpływ różnych kombinacji środków płuczających: NaOCl, CHX, kwasu fosforanowego i askorbinianu sodu, na mikrotwardość zębiny i jej wytrzymałość na zginanie. Mimo istotnego spadku mikrotwardości zębiny obserwowanego po zastosowaniu wymienionych preparatów płuczających nie wykazano ich wpływu na wytrzymałość zębiny korzeniowej na zginanie.

Perez-Heredia i wsp. poddali badaniu fragmenty 10 korzeni usuniętych zębów siecznych (17). W eksperymencie wykorzystano 4 różne środki płuczające: 15% EDTA, 15% i 5% kwas cytrynowy oraz 2,5% NaOCl. Celem badania było monitorowanie utraty jonów wapnia z powierzchni zębiny korzeniowej, po wdrożeniu procedur płukania. Ocenę przeprowadzono z użyciem spektrometru SpectrAA 220 FS po 5, 10 i 15 minutach. Wszystkie środki płuczające generowały znaczącą utratę jonów wapniowych w pierwszych 5 minutach eksperymentu. Największe deficyty w każdym z trzech okresów obserwacji odnotowano w przypadku stosowania kwasu cytrynowego i EDTA.

Obecnie lekarz ma możliwość wyboru szerokiego spektrum instrumentarium endodontycznego. Warto aby stosowane systemy do mechanicznego i chemicznego opracowania kanałów miały ograniczony wpływ na charakterystykę twardych tkanek zęba. Uwzględnienie w planowaniu odbudowy zębów leczonych kanałowo właściwości biomechanicznych zębiny korzeniowej jest konieczne w aspekcie wytrzymałości i trwałości wykonanych wypełnień lub uzupełnień protetycznych.

PODSUMOWANIE

Prognoza leczenia kanałowego jest zależna nie tylko od efektywności oczyszczenia ścian kanałów korzeniowych, ale również od ilości i jakości pozostawionych tkanek zęba. Chemo-mechaniczne opracowanie ścian kanałów, mające na celu eliminację drobnoustrojów, stwarza potencjalne ryzyko powstania uszkodzeń, a tym samym może wpływać negatywnie na wytrzymałość zębiny korzeniowej. Na podstawie dostępnych badań można wysunąć następujące wnioski:

1. Pilniki ręczne, w porównaniu do pilników maszynowych, generują mniej defektów zębiny korzeniowej oraz w mniejszym stopniu obniżają jej wytrzymałość na złamanie.
2. Praca pilnikami w ruchu oscylacyjny, w porównaniu do pilników pracujących w ruchu rotacyjnym, zmniejsza ryzyko pęknięć zębiny korzeniowej.
3. Środki płuczające stosowane w leczeniu endodontycznym wpływają na parametry wytrzymałościowe zębiny korzeniowej: powodują spadek mikrotwardości oraz wzrost chropowatości. Pozostają natomiast bez wpływu na wytrzymałość zębiny na zginanie.

Strength parameters of the root dentine subjected to the chemical procedure of rinsing were also assessed by Marcelino et al. (16). The authors have assessed the impact of various combinations of rinsing agents: NaOCl, CHX, phosphate acid and sodium ascorbate on microhardness of the dentine and its bending strength. Despite the significant decrease in microhardness observed following the application of the mentioned flushing agents, there was no impact proven on the bending strength of the root dentine.

Perez-Heredia et al. studied fragments of 10 roots of extracted incisors (17). The experiment utilised 4 different rinsing agents: 15% EDTA, 15% and 5% citric acid and 2.5% NaOCl. The goal of the study was to monitor the loss of calcium ions from the root dentine surface following flushing procedures introduction. The assessment was carried out with the use of a spectrometer SpectrAA 220 FS after 5, 10 and 15 minutes. All the rinsing agents generated a significant loss of calcium ions in the first 5 minutes of the experiment. The greatest deficit in all the three periods of observation was observed in the case of using citric acid and EDTA.

Currently, the doctor has the possibility to select a wide spectrum of endodontic instruments. It would prove useful if the used systems for mechanical and chemical preparation of canals had a limited impact on the characteristics of hard tissues of the tooth. Taking into consideration the biomechanical properties of the root dentine in planning the reconstruction of canal treated teeth is necessary in the aspect of strength and hardness of the made fillings or prosthetic fillings.

CONCLUSIONS

The prognosis of canal treatment depends not only on the efficiency of cleaning the root canals walls but also the quantity and quality of the spared tooth tissues. Chemical and mechanical preparation of canal walls aimed at eliminating microorganisms creates a potential risk of damage creation, therefore may have a negative impact on the strength of the root dentine. On the basis of the available studies, one may draw the following conclusions:

1. Hand files, as compared to machine files, generate fewer root dentine defects and reduce to a smaller extent its resistance to breaking.
2. Work with files in oscillatory movement, as compared with rotary movement operating files, reduces the risk of cracks of the root dentine.
3. Rinsing agents used in endodontic treatment influence the strength parameters of the root dentine: result in decrease in microhardness and increase in coarseness. They remain to have no influence on the bending strength of the dentine.

**KONFLIKT INTERESÓW
CONFLICT OF INTEREST**

Brak konfliktu interesów
None

**ADRES DO KORESPONDENCJI
CORRESPONDENCE**

*Wioletta Bielas
Zakład Stomatologii Zachowawczej
Warszawski Uniwersytet Medyczny
ul. Miodowa 18, 00-246 Warszawa
tel. +48 (22) 502-20-32
sekretariat.zachowawcza@wum.edu.pl

nadesłano/submitted:

18.01.2017

zaakceptowano do druku/accepted:

08.02.2017

PIŚMIENNICTWO/REFERENCES

1. Kishen A: Mechanisms and risk factors for fracture predilection in endodontically treated teeth. *Endod Topics* 2006; 3: 57-83.
2. Kishen A, Kumar GV, Chen NN: Stress-strain response in human dentine: re-thinking fracture predilection in postcore restored teeth. *Dent Traumatol* 2004; 20(2): 90-100.
3. Reeh ES, Messer HH, Douglas WH: Reduction in tooth stiffness as a result of endodontic and restorative procedures. *J Endod* 1989; 15(11): 512-516.
4. Yassen GH, Eckert G, Platt J: Effect of intracanal medicaments used in endodontic regeneration procedures on microhardness and chemical structure of dentin. *Restor Dent Endod* 2015; 40(2): 104-112.
5. Skórska-Jasak A, Klimek L, Pawlicka H: Wpływ kwasu cytrynowego i EDTA na mikrotwardość zębiny korzeniowej. *Czas Stomat* 2007; LX(10): 650-655.
6. Helvacioğlu-Yigit D, Aydemir S, Yilmaz A: Evaluation of dentinal defect formation after root canal preparation with two reciprocating systems and hand instruments: an *in vitro* study. *Biotechnol Biotechnol Equip* 2015; 29: 368-373.
7. Shemesh H, Bier CA, Wu MK et al.: The effects of canal preparation and filling on the incidence of dentinal defects. *Int Endod J* 2009; 42(3): 208-213.
8. Ashwinkur V, Krithikadatta J, Surendran S, Velmurugan N: Effect of reciprocating file motion on microcrack formation in root canals: an SEM study. *Int Endod J* 2014 Jul; 47(7): 622-627.
9. Liu R, Kaiwar A, Shemesh H et al.: Incidence of apical root cracks and apical dentinal detachments after canal preparation with hand and rotary files at different instrumentation lengths. *J Endod* 2013 Jan; 39(1): 129-132.
10. Celik D, Serper A, Er K et al.: Fracture resistance of roots after instrumentation with two nickel-titanium rotary systems at different working lengths. *Clin Den Res* 2015; 39(2): 49-55.
11. Ravi AB, Parabath Singh VP, Sreeram SR et al.: Comparison of root microcrack formation after root canal preparation using two continuous rotational file systems and two reciprocating systems- an invitro study. *IOSR-JDMS* 2015; 14: 15-18.
12. Jalali S, Eftekhari B, Paymanpour P et al.: Effects of Reciproc, Mtwo and ProTaper instruments on formation of root fracture. *IEJ* 2015; 10(4): 252-255.
13. Monga P, Bajaj N, Mahajan P, Garg S: Comparison of incidence of dentinal defects after root canal preparation with continuous rotation and reciprocating instrumentation. *Singapore Dental J* 2015; 36: 29-33.
14. Kansal R, Rajput A, Talwar S et al.: Assessment of dentinal damage during canal preparation using reciprocating and rotary files. *J Endod* 2014 Sep; 40(9): 1443-1446.
15. Patil CR, Uppin V: Effect of endodontic irrigating solutions on the microhardness and roughness of root canal dentin: an *in vitro* study. *Indian J Dent Res* 2011; 22(1): 22-27.
16. Marcelino A, Bruniera JF, Rached-Junior FA et al.: Impact of chemical agents for surface treatments on microhardness and flexural strength of root dentin. *Braz Oral Res* 2014; 28(1): 1-6.
17. Perez-Heredia M, Ferrer-Luque CM, Gonzalez-Rodriguez MP et al.: Decalcifying effect of 15% EDTA, 15% citric acid, 5% phosphoric acid and 2.5% sodium hypochlorite on root canal dentine. *Int Endod J* 2008; 41: 418-423.