

Preparation of simulated double curved canals with WaveOne, Reciproc and ProTaper Next system

Opracowanie symulowanych kanałów o podwójnej krzywiznie narzędziami WaveOne i Reciproc oraz systemem ProTaper Next

Agata Koprowicz, Michał Łęski, Halina Pawlicka

Zakład Endodoncji, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Polska
Department of Endodontics, Medical University of Lodz, Poland
Head: prof. dr hab. H. Pawlicka

Abstract

Introduction. The purpose of the mechanical preparation of the root canal is to create a continuously tapering funnel form, extending from the coronal access cavity to the root apex, as well as to maintain the original canal shape and apical foramen in their original spatial relationship both to the periapical tissues and the root surface. In the case of curved canals this work is considered to be a challenge for dentists. The most common procedural errors, such as apical perforation or strip perforation, relate to the teeth with complicated root canal anatomy. **Aim of the study.** To evaluate the shape of canals with a double curved curvature after preparation with different instruments with respect to canal transportation, the amount of removed material from canal walls, as well as apical transportation and its diameter. **Material and methods.** The study involved reciprocating files, WaveOne (Dentsply Maillefer), Reciproc (VDW), and rotary ProTaper Next system (Dentsply Maillefer). Thirty resin blocks (Endo-Training-Bloc, Dentsply Maillefer) with hollow inside canals containing a double curvature (S-shaped canals) were used in the study. Blocks were photographed before and after preparation. After the superimposition of images in a computer program, measuring points were determined. The amount of the removed material corresponded to the distance between the measuring point and the wall of the canal after the preparation. To elaborate the collected data, descriptive and statistical inference methods were used. **Results.** This study has confirmed the scientists' opinions that differences in the structure and working movement of files affect the resulting

Streszczenie

Wprowadzenie. Mechaniczne opracowania kanału korzeniowego polega na nadaniu jamie zęba kształtu zwężającego się lejka, w kierunku od ujścia koronowego do wierzchołka, przy jednoczesnym zachowaniu oryginalnego przebiegu kanału oraz położenia otworu wierzchołkowego. W przypadku zakrzywionych kanałów korzeniowych, zadanie to stanowi dla lekarzy dentyistów wyzwanie. Najczęściej spotykane błędy proceduralne, takie jak perforacja wierzchołkowa lub perforacja z przetarcia (ang. strip perforation), dotyczą zębów o skomplikowanej anatomii systemu kanałowego. **Cel pracy.** Celem pracy była ocena kształtu symulowanych kanałów o podwójnej krzywiznie po opracowaniu różnymi narzędziami maszynowymi pod względem ich transportacji, ilości usuniętego materiału z obu ścian kanału, a także transportacji i nadpreparacji otworu wierzchołkowego. **Materiał i metoda.** Badaniu poddano narzędzia recyprokalne WaveOne (Dentsply Maillefer) i Reciproc (VDW) oraz narzędzia rotacyjne ProTaper Next (Dentsply Maillefer). Do badań wykorzystano 30 bloczków z żywicy (Endo-Training-Bloc, Dentsply-Maillefer) ze sztucznymi kanałami z podwójną krzywizną (tzw. kanały typu S). Bloczki fotografowano przed i po opracowaniu. Po nałożeniu zdjęć bloczków w programie komputerowym, wyznaczono tzw. punkty pomiarowe. Ilość usuniętego w trakcie opracowania materiału wyznaczała odległość między punktem pomiarowym a ścianą kanału po opracowaniu. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej. **Wyniki.** Przeprowadzone badanie potwierdziło zdanie naukowców, że różnice

KEYWORDS:

mechanical instrumentation, simulated canals, reciprocating movement, canal transportation

HASŁA INDEKSOWE:

narzędzia maszynowe, kanały symulowane, ruch recyprokalny, transportacja kanału

shape of the root canal. The tested instruments ensure simulated canal preparation in a manner which evidently deviates from expectations. The concept of one file with a high and variable taper creates the risk of more extensive canal transportation. The comparison of the preparation with the system based on a sequence of files revealed statistically significant differences. In the case of double curved canals the ProTaper Next instruments seem to be the right choice.

Introduction

Endodontic preparation consists of two parts: mechanical, performed by a variety of instruments and chemical, using various irrigants. The mechanical part includes enlargement of the root canal while maintaining its natural curvature and location of the apical foramen. The shape of the canal is defined as a tapering funnel form, from the coronal access cavity to the root apex. Instrumentation of straight and wide root canals does not entail difficulties for endodontists. In the case of curved canals, precurved or flexible files that adapt to the canal curvature should be used. Failure to observe this rule is the most common cause of straightening the canal and making procedural errors in the apical part. Double curved canals are observed in many clinical cases.¹⁻³ According to Peters et al.,⁴ a wide variety of root canal anatomy exerts a greater impact on changes in the shape of the canal during preparation than the choice of an instrument.

The development of modern endodontics has introduced new innovative mechanical systems onto the dental market, which, unlike the previous ones, consist of just a few simple sequences of files, or individual files, shortening the preparation procedure.

The aim of this study was to evaluate the shape of canals with a double curved curvature after preparation with different instruments in relation to the canal transportation, the amount of removed material from both canal walls, as well as the apical transportation and its diameter.

w budowie i sposobie poruszania narzędzi w kanale wpływają na uzyskany kształt. Badane instrumenty opracowują kanały symulowane w sposób odbiegający od oczekiwań. Wykorzystanie, do opracowania kanału o skomplikowanej anatomii, jednego pilnika o dużej i zmiennej stożkowatości niesie ryzyko większej transportacji kanału. Porównanie narzędzi WaveOne i Reciproc z systemem ProTaper Next opartym na sekwencji narzędzi wykazało istotne statystycznie różnice. W przypadku opracowania kanałów z podwójną krzywizną grupa narzędzi ProTaper Next wydaje się być właściwym wyborem.

Wprowadzenie

Procedura opracowania kanałów korzeniowych składa się z dwóch części: chemicznej – za pomocą różnych środków płuczących oraz mechanicznej – za pomocą różnych narzędzi. Część mechaniczna uwzględnia poszerzenie kanału, z zachowaniem jego naturalnego przebiegu i położenia otworu fizjologicznego. Najczęściej pożądanym kształtem kanału określany jest jako stożek zwężający się w kierunku od komory do wierzchołka. Opracowanie w ten sposób prostych i szerokich kanałów korzeniowych nie sprawia lekarzowi trudności. W przypadku kanałów zakrzywionych należy pracować narzędziami wcześniej dogiętymi do krzywizny kanału lub na tyle giętkimi, że same dopasowują się do jej przebiegu. Nieprzestrzeganie tych zasad jest najczęściej przyczyną prostowania kanału i popełniania błędów proceduralnych w przywierzchołkowej jego części. W wielu klinicznych przypadkach obserwuje się występowanie podwójnej krzywizny w obrębie jednego kanału.¹⁻³ Według Petersa i wsp.⁴ większy wpływ na zmianę kształtu kanału podczas preparacji ma różnorodność budowy kanałów korzeniowych niż wybór narzędzi do ich opracowania.

Rozwój współczesnej endodoncji sprawił, że na rynku stomatologicznym pojawiły się innowacyjne systemy maszynowe, które w odróżnieniu do poprzednich, składają się z prostej sekwencji załadunku kilku pilników lub pojedynczych pilników powodując skrócenie preparacji mechanicznej.

Celem badania była ocena kształtu symulowanych kanałów o podwójnej krzywiznie po opracowaniu różnymi narzędziami maszynowymi pod

Material and methods

The study involved WaveOne (Dentsply Maillefer) and Reciproc (VDW) reciprocating files, and rotary ProTaper Next system (Dentsply Maillefer) (Fig. 1). Thirty resin blocks (Endo-Training-Bloc, Dentsply Maillefer) with hollow inside canals containing a double curvature (S-type canals) were used in the study, according to the method developed by *Dummer et al.*⁵ Depending on the machine instrument, three groups of ten blocks each were created. In group 1, canals were prepared with WaveOne Primary files, canals in group 2 were prepared using Reciproc R25 files, while in group 3, ProTaper Next files X1 and X2 were used. A VDW.SILVER micromotor and an Xsmart PLUS handpiece with a 6:1 reduction (Dentsply Maillefer) were applied. Prior to preparation, blocks were numbered from 1 to 10 by a diamond drill on an air-rotor. All the canals were prepared by a single operator and all the files were used once. Before establishing the working length, the canals were filled with black ink (Astra SA). Blocks with filled canals were photographed with Canon EOS 600D using TAMRON AF 18200 mm f/3.56.3 Di II LD Aspherical (IF) MACRO Zoom Lens with MeiKe Extension Ring with length adjustment. Before taking photographs, blocks were fixed on a negatoscope. After each use, the file was cleaned from chips and each canal was irrigated using 5 ml of water. After the preparation, blocks were fixed in identical position and photographed. Images were recorded as the JPEG files at a resolution of 72 x 72 dpi. A total of 60 images of blocks with S-shaped canals were taken. When all the images were completed (before and after the preparation of the canals), they were superimposed onto each other using GIMP 2.8.6. This program adjusts image fixed elements allowing for precise placement of one image onto another. Thirty superimposed images of S-shaped canals were obtained in total (Fig. 2).

After the superimposition of images in a computer program, measuring points were determined. They were obtained by drawing circles centred on the apex of the canal before the preparation. The first circle had a radius of 1 mm and each subsequent circle was 1 mm larger.

względem ich transportacji, ilości usuniętego materiału z obu ścian kanału, a także transportacji i nadpreparacji otworu wierzchołkowego.

Material i metoda

Badanie przeprowadzono za pomocą dwóch narzędzi recyprokalnych WaveOne (Dentsply Maillefer) i Reciproc (VDW) oraz systemu rotacyjnego ProTaper Next (Dentsply Maillefer) (Fig. 1). W badaniu wykorzystano 30 bloczków z żywicy (Endo-Training-Bloc, Dentsply-Maillefer) z wydrążonymi wewnątrz, według metody opracowanej przez *Dummera i wsp.*,⁵ sztucznymi kanałami z podwójną krzywizną (tzw. kanały typu S). W zależności od zastosowanego systemu maszynowego stworzono 3 grupy po 10 bloczków każda. W pierwszej grupie kanały opracowano narzędziami WaveOne Primary, kanały grupy drugiej opracowano przy użyciu pilników Reciproc R25, natomiast w grupie trzeciej zastosowano system ProTaper Next (pilniki X1 i X2). Do badania wykorzystano mikrosilnik VDW.SILVER oraz X-smart PLUS Dentsply Maillefer z kątnicą o redukcji 6:1. Przed przystąpieniem do preparacji, bloczki ponumerowano wiertłem diamentowym na turbinę od 1 do 10. Wszystkie kanały zostały opracowane przez jednego operatora i z jednokrotnym użyciem wszystkich narzędzi. Przed opracowaniem mierzono długość roboczą kanałów i wypełniono je czarnym tuszem kreślarskim (Astra S.A.). Bloczki z wypełnionymi kanałami fotografowano aparatem Canon EOS 600D, przy użyciu obiektywu XR Diii TAMRON AF 18–200 mm F/3.5-6.3 (IF) MACRO z pośrednim pierścieniem z płynną regulacją odległości MeiKe EXT. Przed wykonaniem zdjęcia bloczki przytwierdzano na negatoskopie. Po każdorazowym użyciu pilnika oczyszczano go z opiłków oraz stosowano irygację wykorzystując 5 ml wody podczas opracowania jednego kanału. Po opracowaniu, bloczki ustawiano w identycznym położeniu i fotografowano. Zdjęcia zapisywano w postaci plików JPEG w rozdzielczości 72 x 72 dpi. Łącznie wykonano 60 zdjęć bloczków z S-kanałami. Po wykonaniu wszystkich fotografii, przed i po opracowaniu kanałów, zdjęcia nakładano na siebie przy użyciu programu GIMP 2.8.6. Program ten dopasowuje

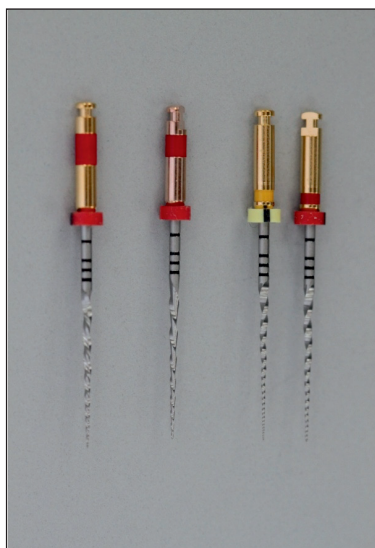


Fig. 1. WaveOne Primary, Reciproc R25, ProTaper Next X1 and X2 instruments.

Narzędzia WaveOne Primary, Reciproc R25, ProTaper Next X1 i X2.

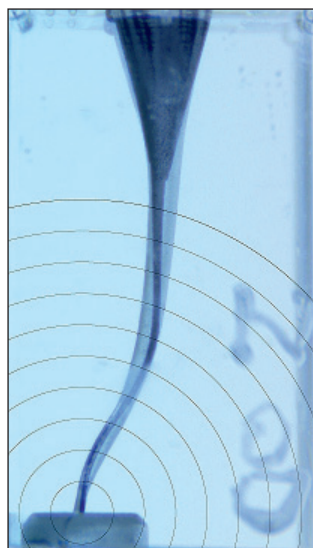


Fig. 2. Photos of S-type canals with drawn circles. Zdjęcia kanału typu S z nakreślonymi okręgami.

Ten obtained circles provided the same number of measuring points on the inner and outer wall of the canal. Measuring points were located at the intersections of circles and the canal walls before and after the preparation. The amount of the removed material corresponded to the distance between the measuring point and the wall of the canal after the preparation. Measurements were carried out perpendicular to the canal wall before preparation. The method of determining the measuring points was proposed by Schäfer et al.^{6,7} The results were recorded in the Microsoft Excel file.

Apical transportation was determined by calculating the difference between the amount of the removed material between the first measuring point and the centre of the apical foramen (M1) and the second measuring point and the centre of the apical foramen (M2). A negative result signified more extensive preparation on the outer wall of the canal, while a positive one showed a more extensive preparation on the inner wall. Measurements were performed using a computer program with 400x magnification of the image.

Excessive enlargement of the foramen was calculated from the sum of the amount of the

stałe elementy zdjęcia umożliwiając precyzyjne nałożenie jednego zdjęcia na drugie. Uzyskano 30 obrazów z nałożonymi na siebie zdjęciami S kanałów przed i po opracowaniu (Fig. 2).

Po nałożeniu zdjęć bloczków w programie komputerowym, wyznaczono tzw. punkty pomiarowe. Uzyskano je poprzez nakreślenie okręgów, których środkiem był wierzchołek kanału przed opracowaniem. Pierwszy okrąg miał promień równy 1 mm, każdy kolejny o 1 mm większy. Uzyskując 10 okręgów, otrzymano po 10 punktów pomiarowych na wewnętrznej i zewnętrznej ścianie kanału. Punkty pomiarowe znajdują się w miejscach przecięcia okręgów ze ścianami kanału przed i po opracowaniu. Ilość usuniętego w trakcie opracowania materiału wyznaczała odległość między punktem pomiarowym a ścianą kanału po opracowaniu. Pomiarzy prowadzono prostopadle do ściany kanału przed opracowaniem. Zastosowano metodę wyznaczania punktów pomiarowych zaproponowaną przez Schäfera i wsp.^{6,7} Uzyskane wyniki zapisywano w plikach arkusza kalkulacyjnego Microsoft Excel.

Transportację otworu wierzchołkowego, określano obliczając różnicę pomiędzy ilością usuniętego materiału pomiędzy pierwszym punktem po-

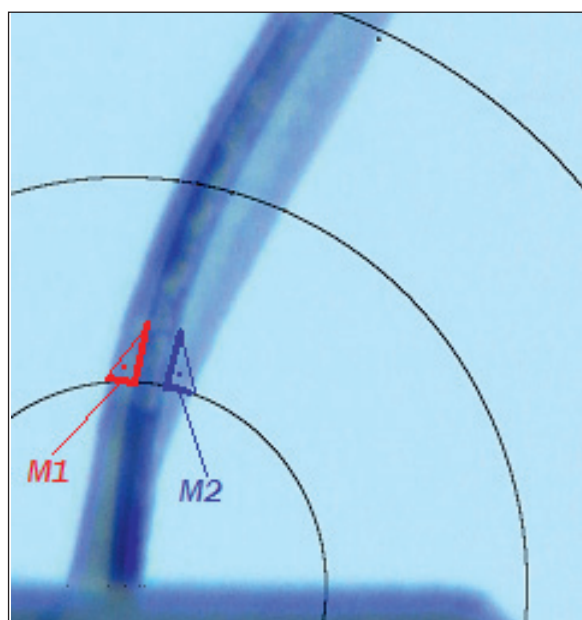


Fig. 3. Loss of the material from inner and outer S-canal wall. Ilość usuniętego materiału po wewnętrznej i zewnętrznej ścianie kanału typu S.

removed material between the first and the second measuring point and the centre of the apical foramen ($M1 + M2$). If the result exceeded 0.25 mm, the excessive preparation of the apical foramen was stated. The measurements were performed in a computer program with 400x magnification of the image.

The amount of the removed material was measured at eighteen measuring points on the inner and outer canal wall. The perpendicular line was drawn from each measuring point to the canal wall after its preparation. Then it was measured in a computer program at 400x magnification of the image to the nearest 0.01 mm. The amount of the removed material on the inner wall of the canal was determined as M1 and on the outer as M2 (Fig. 3)

To specify preparation area of S-shaped canals, the following terms were used:

- *curvature I* as the one closer to the apex,
- *curvature II* as the one closer to the orifice,
- *outer wall* as *major curvature I*,
- *inner wall* as *minor curvature I*,
- *inner surface* as the one including *major*

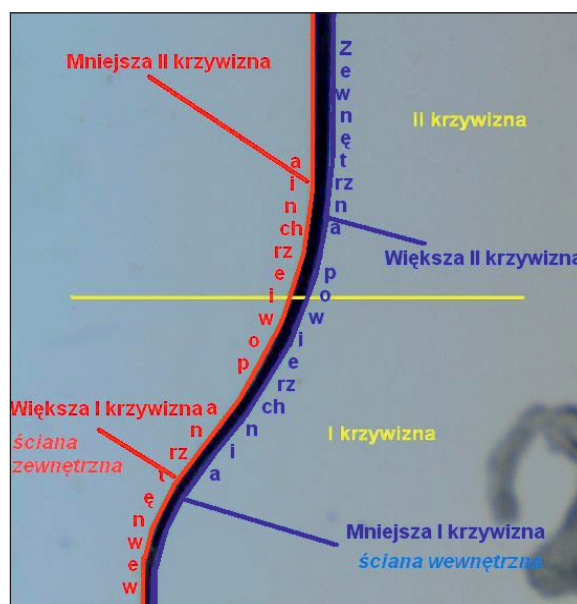


Fig. 4. S-canal prepared area. Obszary objęte preparacją w kanałach typu S.

miarowym i środkiem otworu wierzchołkowego (M1), a drugim punktem pomiarowym i środkiem otworu wierzchołkowego (M2). Wynik ujemny oznaczał większe opracowanie wierzchołka na zewnętrznej ścianie kanału, natomiast dodatni na wewnętrznej. Pomiarów dokonywano w programie komputerowym po 400-krotnym powiększeniu obrazu.

Nadmierne poszerzenie otworu wierzchołkowego obliczano na podstawie sumy ilości usuniętego materiału pomiędzy 1 i 2 punktem pomiarowym a środkiem otworu wierzchołkowego ($M1 + M2$). Jeśli wynik przekraczał 0,25 mm, to stwierdzano nadmierne opracowanie otworu wierzchołkowego. Pomiarów dokonywano w programie komputerowym po 400-krotnym powiększeniu obrazu.

Ilość usuniętego materiału była mierzona w 18 punktach pomiarowych wyznaczonych po wewnętrznej i zewnętrznej stronie kanału. Od każdego punktu pomiarowego poprowadzono linię pod kątem prostym do obu ścian kanału po jego opracowaniu, a następnie zmierzono ją w programie komputerowym po 400-krotnym powiększeniu obrazu, z dokładnością do 0,01 mm. Ilość usu-

- curvature I and minor curvature II,*
 – *outer surface as the one including minor curvature I and major curvature II* (Fig. 4).

Canal transportation was evaluated based on a technique by Gambill et al.⁸. It consists in calculating the amount of the material removed on opposite sides of the canal in successive measuring points. The M2-M1 model was used, where M1 is the amount of the material removed from the inner and M2 from the outer wall of the canal (in millimetres). A positive result indicates the transportation to the outside of the curvature. A negative result means that the canal is transported into the curvature. A canal whose value of transportation is 0 has an ideal course.

To elaborate the collected data, descriptive and statistical inference methods were used. The Mann-Whitney test was used for comparison of two independent samples. For comparison of the frequency of particular characteristic varieties in the study groups, the Chi² test was applied. To compare a few independent groups, the Kruskal-Wallis test, a non-parametric equivalent of analysis of variances for the single classification, was used. In order to compare several dependent samples, the Friedman test, which is an equivalent to the non-parametric one-way analysis of variance for repeated measurements, was applied.

Results

S-shaped canal preparation almost always led to outward apical transportation (positive result). The exception was the WaveOne group in which one result turned out to be negative.

The highest mean value of apical transportation of S-shaped canals obtained in the Reciproc group was 0.310 ± 0.103 mm. Slightly lower mean value was obtained in the WaveOne group: 0.303 ± 0.174 mm. The lowest mean (0.207 ± 0.074 mm) was characterised by the ProTaper Next group (Fig. 5).

In the case of double curved canals the highest apical overpreparation up to 0.612 mm was observed in the WaveOne group. This group achieved the highest mean value of the apical foramen, which was 0.518 ± 0.077 mm. A lower

niętego materiału na wewnętrznej ścianie kanału oznaczono jako M1, natomiast na zewnętrznej jako M2 (Fig. 3).

Celem sprecyzowania obszaru preparacji kanałów typu S posłużono się terminami:

- *I krzywizną* określono zakrzywienie występujące bliżej wierzchołka,
- *II krzywizną* określono zakrzywienie występujące bliżej ujścia,
- *ścianą zewnętrzną* kanału określono *I krzywiznę większą*,
- *ścianą wewnętrzną* kanału określono *I krzywiznę mniejszą*,
- *powierzchnią wewnętrzną* nazwano powierzchnię obejmującą *większą krzywiznę I i mniejszą krzywiznę II*,
- *powierzchnią zewnętrzną* nazwano powierzchnię obejmującą *mniejszą krzywiznę I i większą krzywiznę II* (Fig. 4).

Transportację, czyli przesunięcie osi głównej kanału po jego opracowaniu oceniono na podstawie techniki zaproponowanej przez Gambilla i wsp.⁸ Polega ona na obliczeniu różnicy pomiędzy ilością usuniętego materiału po przeciwnych stronach kanału w kolejnych punktach pomiarowych. Zastosowano wzór M2-M1, gdzie M1 to ilość usuniętego materiału z wewnętrznej, a M2 z zewnętrznej ściany kanału (w milimetrach). Wynik dodatni wskazuje na transport kanału na zewnątrz krzywizny. Wynik ujemny oznacza, że kanał transportowany jest do wewnątrz krzywizny. Idealny przebieg ma kanał, którego transportacja wynosi 0.

Dla opracowania zebranych danych zastosowano metody opisowe i metody wnioskowania statystycznego. Dla porównania dwóch prób niezależnych zastosowano test Manna-Whitney'a. Dla porównania częstości występowania poszczególnych odmian cech w badanych grupach skorzystano z testu niezależności chi². W przypadku porównań kilku grup niezależnych zastosowano test Kruskala-Wallisa, nieparametryczny odpowiednik analizy wariancji dla klasyfikacji pojedynczej, a dla kilku prób zależnych – test Friedmana, będący nieparametrycznym odpowiednikiem jednoczynnikowej analizy wariancji dla pomiarów powtarzanych.

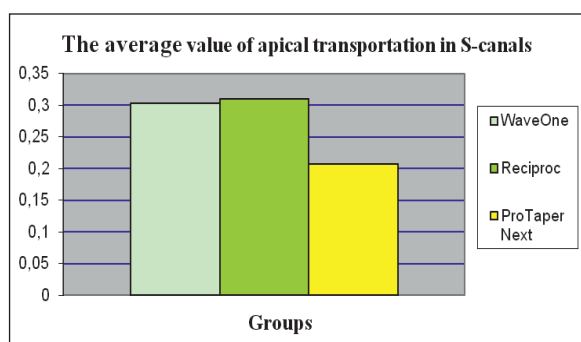


Fig. 5. The average value of the apical transportation in S-canals. Średnia wartość transportacji otworu wierzchołkowego w S-kanalach.

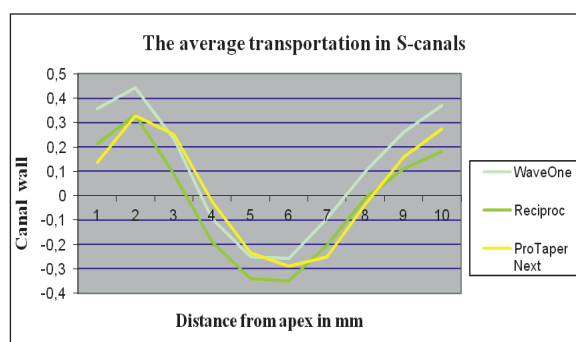


Fig. 6. S-canal transportation. Transportacja w S-kanalach.

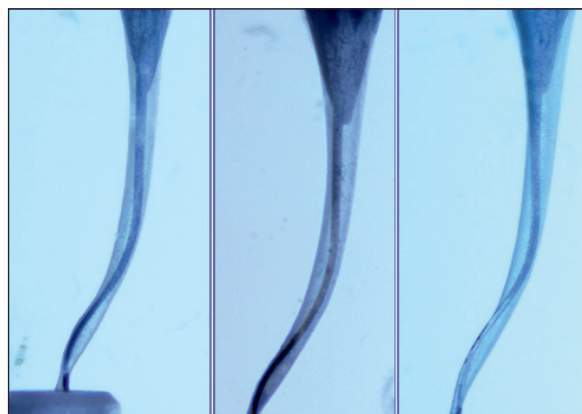


Fig. 7. S-canal prepared with WaveOne, Reciproc and ProTaper Next. Opracowanie kanału typu S narzędziami WaveOne, Reciproc i ProTaper Next.

mean value was obtained in the Reciproc group: 0.458 ± 0.079 mm. The lowest mean value was characterised by the ProTaper Next group: 0.369 ± 0.044 mm. In half of the evaluated canals the score did not exceed 0.367 mm. The largest observed result in this group was 0.458 mm.

Comparison of groups in pairs showed a statistically significant difference in the mean value between the WaveOne and ProTaper Next group ($p < 0.001$), while no significant differences were found between the WaveOne and Reciproc group ($p = 0.515$) and between the Reciproc and ProTaper Next group. The highest mean amount of material in S-shaped canals in all groups was removed from the inner surface of the canal in its central part, i.e. at a distance of 5-8 mm from

Wyniki

Opracowanie kanałów z dwiema krzywiznami niemal w każdym przypadku doprowadziło do transportacji otworu wierzchołkowego na zewnątrz (wynik dodatni). Wyjątek stanowi grupa WaveOne, w której jeden wynik okazał się ujemny.

Najwyższą średnią wartość transportacji otworu wierzchołkowego S-kanalu uzyskano w grupie Reciproc, wynosiła ona $0,310 \pm 0,103$ mm. Nieco mniejszą średnią uzyskano w grupie WaveOne: $0,303 \pm 0,174$ mm. Najmniejszą średnią charakteryzowała się grupa ProTaper Next, wynosiła ona $0,207 \pm 0,074$ mm (Fig. 5).

W przypadku kanałów z dwiema krzywiznami największą nadpreparację otworu wierzchołkowego zaobserwowano w grupie WaveOne, wynosiła ona aż 0,612. W tej grupie uzyskano też najwyższą średnią wartość otworu wierzchołkowego, wynosiła ona $0,518 \pm 0,077$ mm. Mniejszą średnią wartość uzyskano w grupie Reciproc: $0,458 \pm 0,079$ mm. Najmniejszą średnią wartością charakteryzowała się grupa ProTaper Next, wynosiła ona $0,369 \pm 0,044$ mm, a w połowie ocenianych kanałów wynik nie przekraczał 0,367 mm. Największy obserwowany wynik w tej grupie to 0,458 mm. Porównanie grup parami wykazało istotną statystycznie różnicę średnich w grupach WaveOne i ProTaper Next ($p < 0,001$), natomiast nie stwierdzono istotnych różnic w tym względzie pomiędzy grupami WaveOne a Reciproc ($p = 0,515$) oraz pomiędzy Reciproc a Pro Taper Next ($p = 0,074$). (Tab. 1)

Największą średnią ilość materiału w kanałach

Table 1. The average value of diameter of apical foramen (mm)

Group	Average value of diameter of apical foramen (mm) S-canals
WaveOne	0.518 ± 0.077
Reciproc	0.458 ± 0.079
ProTaper Next	0.369 ± 0.044
Comparison	H=13.360; p=0.0013 WaveOne z ProTaper Next: z=3.620; p=0.0009

Table 2. The amount of material prepared from the inner surface of double curved canals in WaveOne, Reciproc and ProTaper Next groups

Distance from the apical foramen (mm)	Group								
	WaveOne			Reciproc			ProTaper Next		
	x	Me	SD	x	Me	SD	x	Me	SD
1	0.067	0.072	0.033	0.108	0.107	0.032	0.081	0.081	0.028
2	0.060	0.054	0.025	0.081	0.078	0.021	0.047	0.044	0.028
3	0.091	0.090	0.025	0.185	0.195	0.057	0.044	0.047	0.030
4	0.298	0.323	0.053	0.354	0.361	0.052	0.186	0.200	0.074
5	0.450	0.452	0.065	0.479	0.489	0.071	0.360	0.372	0.132
6	0.471	0.450	0.075	0.497	0.514	0.097	0.408	0.418	0.142
7	0.390	0.358	0.095	0.412	0.390	0.123	0.389	0.375	0.065
8	0.300	0.266	0.092	0.313	0.281	0.128	0.290	0.275	0.062
9	0.234	0.220	0.077	0.267	0.221	0.118	0.220	0.205	0.071
10	0.203	0.206	0.081	0.264	0.235	0.119	0.183	0.185	0.089

the apex. The greatest value was achieved in the Reciproc group at a distance of 5-8 mm (0.425 ± 0.362). In turn, the minimum value was obtained in the ProTaper Next group around *curvature I* of the canal (0.089 ± 0.072) (Table 2).

On the outer surface of the canal, the highest mean amount of the material in the S-shaped canals in all groups was removed from the crown portion, i.e. at a distance of 9-10 mm from the apex. The highest mean amount of the material

typu S we wszystkich grupach usunięto z wewnętrznej powierzchni kanału w jego części środkowej, tj. w odległości od 5-8 mm od wierzchołka. Największą wartość osiągnięto w grupie Reciproc w odległości 5-8 mm ($0,425 \pm 0,362$). Z kolei najmniejszą wartość uzyskano w grupie ProTaper Next w obrębie *I krzywizny* kanału ($0,089 \pm 0,072$) (Tab. 2).

Na zewnętrznej powierzchni kanału największą średnią ilość materiału w kanałach typu S we

Table 3. The amount of material prepared from the outer surface of double curved canals in WaveOne, Reciproc and ProTaper Next groups

Distance from the apical foramen (mm)	Group								
	WaveOne			Reciproc			ProTaper Next		
	X	Me	SD	X	Me	SD	x	Me	SD
1	0.425	0.398	0.100	0.320	0.314	0.073	0.218	0.209	0.055
2	0.503	0.474	0.065	0.413	0.406	0.051	0.377	0.383	0.049
3	0.324	0.321	0.036	0.274	0.260	0.064	0.322	0.318	0.068
4	0.205	0.210	0.050	0.165	0.168	0.031	0.163	0.135	0.058
5	0.198	0.212	0.065	0.138	0.142	0.045	0.125	0.104	0.098
6	0.215	0.223	0.077	0.147	0.155	0.055	0.120	0.093	0.113
7	0.297	0.309	0.079	0.208	0.236	0.106	0.138	0.142	0.058
8	0.400	0.407	0.092	0.305	0.337	0.109	0.257	0.264	0.065
9	0.494	0.503	0.101	0.379	0.395	0.115	0.379	0.374	0.063
10	0.573	0.603	0.117	0.444	0.466	0.120	0.458	0.448	0.082

Table 4. Comparison of the amount of material prepared from the outer and inner canal surface in WaveOne, Reciproc and ProTaper Next groups

Group	Canal surface						Test value z	Significance p
	Inner			Outer				
	x	Me	SD	x	Me	SD		
WaveOne	0.256	0.252	0.159	0.363	0.343	0.151	3.688	p<0.000
Reciproc	0.296	0.277	0.162	0.279	0.275	0.133	0.447	p>0.05
Pro Taper Next	0.221	0.209	0.153	0.256	0.253	0.136	1.375	p>0.05

was removed in the WaveOne group (0.533 ± 0.113). The lowest mean in all groups concerned the section of 5-8 mm. The lowest value was achieved in the ProTaper Next group (0.160 ± 0.101) (Table 3).

In the Reciproc group, the amount of the removed material on the inner and outer surface of the canal did not differ significantly ($p > 0.05$). The means were: 0.296 ± 0.162 and 0.279 ± 0.133 , respectively. Similarly, no statistically significant

wszystkich grupach usunięto z jego części koronowej, tj. w odległości od 9-10 mm od wierzchołka. Największa średnia ilość materiału została usunięta w grupie WaveOne ($0,533 \pm 0,113$). Najmniejsze średnie we wszystkich grupach dotyczyły odcinka 5-8 mm. Najmniejszą wartość uzyskano w grupie ProTaper Next ($0,160 \pm 0,101$) (Tab. 3).

W grupie Reciproc, ilość usuniętego materiału po wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni kana-

difference in the amount of the material removed on the inner and outer surfaces of the canal in the ProTaper Next group ($p > 0.05$) was stated, the mean amount being: 0.221 ± 0.153 and 0.256 ± 0.136 , respectively. It turned out, however, that the WaveOne file removed significantly more material on the outer side than the inner one ($P < 0.001$). The means in this case were 0.363 ± 0.151 vs 0.256 ± 0.159 . (Table 4)

Comparison of canal transportation in the WaveOne, Reciproc, and ProTaper Next groups revealed statistically significant differences at four measuring points. This was at a distance of 1 mm, 2 mm, 3 mm and 4 mm from the apical foramen. In the first three distances, the canal transportation in each group was positive (outside), and the canal transportation was negative in all groups at a distance of 4 mm (Fig. 6).

At a distance of 1 mm, a statistically significant difference occurred for WaveOne and ProTaper Next groups. Significantly higher canal transportation was observed in the WaveOne group (0.358 ± 0.121 vs 0.137 ± 0.079) – $p < 0.001$.

On the other hand, at a distance of 2 mm from the apical foramen, there were two significant differences observed between the groups, namely the canal transportation in the WaveOne group was significantly higher than in the Reciproc group (0.443 ± 0.068 vs 0.332 ± 0.058) – $p < 0.01$ and significantly higher than the Next ProTaper group (0.443 ± 0.068 vs 0.330 ± 0.069) – $p < 0.01$.

At the point of measurement of 3 mm, one significant difference was found between the means; a significantly higher transportation was characterized by the WaveOne group than the Reciproc group (0.0650 ± 0.233 vs 0.089 ± 0.113) – $p < 0.05$.

At a distance of 4 mm from the apical foramen, the mean was lower in the WaveOne (higher inward canal transportation) than in the ProTaper Next group ($-0.189 - 0.023 \pm 0.072$ vs $0.129 \pm$) – $p < 0.01$. Differences in the canal transportation between the two groups at the other measurement points did not prove statistically significant ($p > 0.05$). In all groups, the prepared S-shaped canals deviated significantly from the original course (Fig. 7).

łu nie różniła się istotnie ($p > 0,05$). Odpowiednie średnie to: $0,296 \pm 0,162$ i $0,279 \pm 0,133$. Podobnie nie stwierdzono istotnej statystycznie różnicy ilości materiału usuniętego po wewnętrznej i zewnętrznej powierzchni kanału dla grupy ProTaper Next ($p > 0,05$), a średnie wynoszą: $0,221 \pm 0,153$ i $0,256 \pm 0,136$. Okazało się natomiast, że WaveOne usuwa istotnie więcej materiału po stronie zewnętrznej niż wewnętrznej ($p < 0,001$). Średnie wynoszą w tym przypadku $0,363 \pm 0,151$ vs $0,256 \pm 0,159$ (Tab. 4).

Porównanie transportacji kanału w grupach WaveOne, Reciproc i ProTaper Next Next wykazało istotne statystycznie różnice w czterech punktach pomiarowych. Było to w odległości 1 mm, 2 mm, 3 mm i 4 mm od otworu wierzchołkowego. W trzech pierwszych odległościach transportacja kanału w każdej grupie była dodatnia (na zewnątrz), a w odległości 4 mm we wszystkich grupach transportacja kanału była ujemna (Fig. 6).

W odległości 1 mm różnica istotna statystycznie wystąpiła dla grup: WaveOne i PT Next. Istotnie większą transportację kanału obserwowano w grupie WaveOne ($0,358 \pm 0,121$ vs $0,137 \pm 0,079$) – $p < 0,001$.

Z kolei w odległości 2 mm od otworu wierzchołkowego były dwie istotne statystycznie różnice między grupami, a mianowicie w grupie WaveOne transportacja kanału była istotnie większa niż w grupie Reciproc ($0,443 \pm 0,068$ vs $0,332 \pm 0,058$) – $p < 0,01$ i istotnie większa niż w grupie ProTaper Next ($0,443 \pm 0,068$ vs $0,330 \pm 0,069$) – $p < 0,01$.

W punkcie pomiaru 3 mm obserwuje się jedną istotną różnicę pomiędzy średnimi, istotnie większą transportacją charakteryzuje się grupa WaveOne niż Reciproc ($0,233 \pm 0,0650$ vs $0,089 \pm 0,113$) – $p < 0,05$.

W odległości 4 mm od otworu wierzchołkowego, średnia była mniejsza w grupie WaveOne (większa transportacja kanału do wewnątrz) niż w grupie ProTaper Next ($-0,189 \pm 0,072$ vs $-0,023 \pm 0,129$) – $p < 0,01$. Różnice transportacji kanału pomiędzy grupami w pozostałych punktach pomiaru nie okazały się istotne statystycznie ($p > 0,05$). We wszystkich badanych grupach opracowanie kanału typu S odbiegało znacznie od oryginalnego

The smallest canal transportation occurred in the ProTaper Next group 1 mm away from the apical foramen, where the transportation to the outside of the canal was 0.010. For the inside canal transportation in this group, the smallest score was -0.058 at a distance of 9 mm. The highest value of the outer transportation observed in the WaveOne group amounted to 0.650 mm at a distance of 1 mm from the apical foramen, but the greatest inside transportation, -0.589 mm, was noted in the Reciproc group and took place at a distance of 7 mm from the apical foramen.

Discussion

In almost every case of the examined groups, in S-shaped canals, the transportation of apical foramen usually occurred to the outside. It can be assumed that it is the consequence of the large taper of instruments. The lowest value of apical transportation was observed in the ProTaper Next group. The same group also obtained minimum values of overpreparation of the apical foramen diameter. Larger values of these parameters were observed in both groups of reciprocal files, due to the values of apical transportation which affected the results of the apical foramen diameter. WaveOne files, which have a high cross section and a large taper, contributed most to recalibration of the apical foramen owing to the large canal transportation to the outside in the apical area. By contrast, the ProTaper Next group, consisting of a sequence of two files of smaller conicity, asymmetric two-point movement in the canal and greater flexibility, provided the best results.

The reason of overpreparation of apical foramen can be the so-called *lasso effect*, associated with the centrifugal force that occurs during canal preparation. It leads to an excessive extension of the apical part of the canal. The presence of two curves in the canal, may limit the appearance of this adverse effect. It can therefore be assumed that the greater taper, as well as the rigidity of the files, cause the canal straightening and shortening of the working length. This implies apical overpreparation and apical transportation to the outside. Excessive widening of the apical foramen and apical transportation were also observed by

przebiegu (Fig. 7).

Do najmniejszej transportacji kanału doszło w grupie ProTaper Next w odległości 1 mm od otworu wierzchołkowego, gdzie transportacja na zewnątrz wynosiła 0,010. Dla transportacji do wewnątrz w tej grupie najmniejszy wynik to -0,058 w odległości 9 mm. Natomiast największy wynik transportacji na zewnątrz zaobserwowano w grupie WaveOne, wyniósł on 0,650 mm w odległości 1 mm od otworu wierzchołkowego, zaś największa transportacja do wewnątrz nastąpiła w grupie Reciproc, wynosiła -0,589 mm i miała miejsce w odległości 7 mm od otworu wierzchołkowego.

Dyskusja

Niemal w każdym przypadku badanych grup narzędzi w kanałach typu S zachodziła transportacja otworu wierzchołkowego, najczęściej na zewnątrz. Można przypuszczać, że wynika to z dużej stożkowatości instrumentów. Najmniejszą wartość transportacji zaobserwowano w grupie ProTaper Next. W tej samej grupie uzyskano również najmniejsze wartości nadpreparacji średnicy otworu wierzchołkowego. Większe wartości tych cech zaobserwowano w obu grupach narzędzi recyprokalnych. Spowodowane jest to wartościami transportacji otworu wierzchołkowego, które rzutują na wyniki jego średnicy. Narzędzia WaveOne, które charakteryzują się dużym przekrojem poprzecznym oraz dużą stożkowatością, w związku ze znaczną transportacją kanału na zewnątrz w okolicy *apexu*, najbardziej przyczyniły się do rozkalibrowania otworu wierzchołkowego. W odróżnieniu do nich, grupa ProTaper Next, składająca się z sekwencji dwóch pilników o mniejszej stożkowatości, asymetrycznym 2-punktowym ruchu w kanale oraz większej sprężystości, zapewniła uzyskanie najlepszych wyników.

Przyczyną nadpreparacji wierzchołkowej może być tzw. *efekt lassa*, związany z siłą odśrodkową, który pojawia się podczas opracowania doprowadzając do nadmiernego poszerzenia wierzchołkowej części kanału. Obecność dwóch zakrzywień kanału może jednak ograniczać pojawienie się tego niekorzystnego efektu. Można zatem przypuszczać, że większa stożkowatość, jak również sztywność narzędzi powoduje prostowanie kanału

other authors.⁹⁻¹¹ Experience has shown that these complications occur more frequently in canals with a double curvature than in those with a single one. This is consistent with the results of the study, in which the trend towards greater preparation on the *inner surface of the canal* from *curvatures I* and *II* by all of the tested mechanical systems – ProTaper, Race and K, has been observed.¹² Moving the apical foramen outward depends mainly on the size of the last file introduced to the predetermined working length. According to the study by Lopez,⁹ this mostly occurs during widening of the apical foramen to size 40. Because in the present study all the files had the same diameter of the tip (0.25 mm) other causes of apical transportation should be looked for.

Among the reasons for transportation, insufficient access to the canal¹³ is also mentioned. Lack of proper preparation of the cavity walls can impede control of the working length.¹⁴ Transportation can also be linked to the lack of clinician's experience¹⁵⁻¹⁷ or to too much pressure on the file.¹⁴ To analyze the relationship between the instruments and canal transportation, we should start with a material from which files are made, as well as from a design,¹⁸⁻²¹ presence of acute and cutting apex,^{14,22-24} the technique used to prepare the canal^{19,25-29} and the anatomy of the canal curvature (angle and radius of the curvature). The rigidity of files,³⁰ as well as the cross-sectional shape and root canal system anatomy³¹ affect the deformation of curved canals. The results obtained in the experiment can be explained by the parameter of an amount of material removed from both walls of the canal. They are consistent with findings in the literature.^{3,12} In canals with double curvature, a larger amount of the removed material from the *inner surface of the canal* is from *curvature II*, and from the *outer surface of the canal* in the coronal section. ProTaper Next files removed the least amount of material from the *inner surface* of the section called *curvature I*. Within the *outer surface*, similar results were observed in the section called *curvature II*. This means that among the tested files the ProTaper Next group straightened the canals least of all, thereby maintaining the shape most similar to the original.

i skracanie długości roboczej. To implikuje nadpreparację otworu wierzchołkowego oraz transportację wierzchołka na zewnątrz. Nadmierne poszerzenie oraz transportację otworu wierzchołkowego obserwowali również inni autorzy.⁹⁻¹¹ Z doświadczenia wynika, że powikłania te występują częściej w kanałach z podwójną niż z pojedynczą krzywizną. Zgadza się to z wynikami prac, w których obserwowana jest tendencja opracowania w większym stopniu *wewnętrznej powierzchni* kanału zarówno jego *I*, jak i *II krzywizny*, przez wszystkie badane systemy maszynowe – ProTaper, Race i K3.¹² Przesunięcie wierzchołka na zewnątrz uzależnione jest głównie od rozmiaru ostatniego narzędzia wprowadzanego na ustaloną długość roboczą. Według badań Lopeza⁹ najczęściej obraz ten pojawia się podczas poszerzenia otworu wierzchołkowego do rozmiaru 40. Ponieważ w naszym badaniu wszystkie narzędzia miały jednakową średnicę wierzchołka (0,25 mm), należy szukać innych przyczyn transportacji otworu wierzchołkowego.

Wśród przyczyn transportacji wymienia się niewystarczający dostęp do kanału.¹³ Brak odpowiedniego opracowania ścian ubytku może utrudniać kontrolę długości roboczej.¹⁴ Transportacja może być również związana z brakiem doświadczenia operatora¹⁵⁻¹⁷ lub ze zbyt dużym naciskiem na narzędzie.¹⁴ Analizując zależność między instrumentami a transportacją kanału należy zacząć od materiału, z którego narzędzia są wykonane, właściwości kształtu,¹⁸⁻²¹ obecności ostrego i tnącego wierzchołka,^{14,22-24} zastosowanej techniki opracowania kanałów,^{19,25-29} a także anatomii krzywizny kanałów (kąt i promień krzywizny). Na deformację kanałów zakrzywionych wpływa sztywność narzędzi,³⁰ jak również kształt przekroju poprzecznego lub anatomia systemu kanałowego.³¹ Uzyskane w eksperymencie wyniki można tłumaczyć parametrem *ilości usuniętego materiału z obu ścian kanału*. Są one zgodne z wynikami z piśmiennictwa.^{3,12} W kanałach typu S większa ilość materiału bywa usunięta z *wewnętrznej powierzchni* kanału na wysokości jego *II krzywizny* oraz *zewnętrznej powierzchni* kanału w części przykoronowej. Narzędzia ProTaper Next usunęły najmniejszą ilość materiału z *wewnętrznej po-*

On the basis of the obtained values, the canal transportation from the apical foramen to the orifice was calculated in all groups. The best results were achieved in the ProTaper Next group. Other authors obtained similar results using this system.³² Comparison of the results of canal transportation in both reciprocal groups shows that the WaveOne file contributes to a greater canal transportation. It should be noted, however, that all of the tested files prepared canals with the double curvature in a manner clearly different from expectations. However, a complication in the form of a broken file did not occur in the present study. It can therefore be assumed that all the tested instruments can provide, under the right conditions, safe and efficient work.

Summary

Summing up, it can be concluded that the differences in the structure and type of moving the files in the canal affect the resulting shape. The tested instruments do not prepare the simulated canals in an optimal way. The concept of using a single file with a high and variable taper carries the risk of higher degree of canal transportation. In the case of canals with a double curvature, the ProTaper Next group appears to be the right choice. In the world of modern dentistry, the quality of endodontic treatment is an important element, which depends on the stage of root canal preparation. The search for the best method to prepare a root canal is still in progress. Therefore, the new endodontic mechanical systems require comparative tests to determine the benefits and risks arising from their use.

wierzchni na odcinku tzw. *I krzywizny*. W obrębie powierzchni zewnętrznej podobne wyniki obserwowano na odcinku tzw. *krzywizny II*. To oznacza, że spośród badanych narzędzi grupa ProTaper Next w najmniejszym stopniu prostowała kanał zachowując tym samym kształt najbardziej zbliżony do oryginalnego.

Na podstawie uzyskanych wartości obliczono transportację przebiegu całego kanału we wszystkich grupach narzędzi na odcinku od otworu wierzchołkowego do ujścia. Najlepsze wyniki osiągnięto w grupie ProTaper Next. Podobne wyniki opracowania za pomocą tego systemu obserwowali również inni autorzy.³² Porównanie wyników transportacji kanału w grupach narzędzi recyprokalnych wykazuje, że to pilnik WaveOne przyczynia się do większej transportacji kanału. Należy jednak zaznaczyć, że wszystkie badane narzędzia opracowały kanały z podwójną krzywizną w sposób wyraźnie odbiegający od oczekiwań. W przeprowadzonym badaniu nie wystąpiło natomiast powikłanie w postaci złamanego narzędzia. Można zatem zakładać, że wszystkie badane narzędzia mogą zapewniać, przy odpowiednich warunkach, bezpieczną i efektywną pracę.

Podsumowanie

Podsumowując można stwierdzić, że różnice w budowie i sposobie poruszania narzędzi w kanale wpływają na uzyskany kształt. Badane instrumenty nie zapewniają opracowania kanałów symulowanych w sposób optymalny. Koncepcja jednego pilnika o dużej i zmiennej stożkowatości niesie ryzyko większej transportacji kanału. W przypadku kanałów z podwójną krzywizną grupa narzędzi ProTaper Next wydaje się być właściwym wyborem. W świecie współczesnej stomatologii istotnym elementem jest jakość leczenia endodontycznego, która zależy od etapu opracowania kanałów korzeniowych. Poszukiwania najlepszej metody do opracowania kanałów korzeniowych wciąż trwają. Dlatego na rynku stomatologicznym pojawiają się nowe systemy maszynowe. Wymagają one badań porównawczych, dzięki którym można będzie określić korzyści i czynniki ryzyka wynikające z ich stosowania.

References

- Schäfer E, Diez C, Hope W, Tepel J: Roentgenographic investigation of frequency and degree of canal curvatures in human permanent teeth. *J Endod* 2002; 28: 211-216.
- Sonntag D, Ott M, Kook K, Stachniss V: Root canal preparation with the Ni-Ti system K3, Mtwo and ProTaper. *Aust Endod J* 2007; 33: 73-81.
- Zhan Zhang L, Luo H, Zhou X, Tan H, Huang D: The shaping effect of the combination of two rotary Nickel-titanium instruments in simulated S-shaped canals. *J Endod* 2008; 34: 456-458.
- Peters OA, Schonenberger K, Laib A: Effects of four Ni-Ti preparation techniques on root canal geometry assessed by micro computed tomography. *Int Endod J* 2001; 34: 221-230.
- Dummer PM, Alodeh MH, al-Omari MA: A method for the construction of simulated root canals in clear resin blocks. *Int Endod J* 1991; 24: 63-66.
- Schäfer E, Lohmann D: Efficiency of rotary nickel-titanium FlexMaster instruments compared with stainless steel hand K-Flexofile – Part 1. Shaping ability in simulated curved canals. *Int Endod J* 2002; 35: 505-513.
- Schäfer E, Tepel J, Hoppe W: Properties of endodontic hand instruments used in rotary motion Part 2. instrumentation of curved canals. *J Endod* 1995; 21: 493-497.
- Gambill JM, Alder M, del Rio CE: Comparison of nickel-titanium and stainless steel hand-file instrumentation using computed tomography. *J Endod* 1996; 22: 369-375.
- López FU, Travessas JAC, Fachin E, Grecca F, Fontanella V: Apical transportation: Two assessment methods. *Aust Endod J* 2009; 35: 85-88.
- Yun H, Kim SK: A comparison of the shaping abilities of 4 nickel-titanium rotary instruments in simulated root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2003; 95: 228-233.
- Lopes HP, Elias CN, Estrela C, Siqueira JF Jr, Fontes PP: The endodontics Ni-Ti and stainless steel files hand and rotatory in an apical transportation. *Rev Bras Odontol* 1997; 54: 67-70.
- Yoshimine Y, Ono M, Akamine A: The Shaping Effects of Three Nickel-Titanium Rotary Instruments in Simulated S-Shaped Canals. *J Endod* 2005; 31: 373-375.
- Schäfer E, Dammaschke T: Development and sequelae of canal transportation. *Endod Topics* 2006; 15: 75-90.
- Jafarzadeh H, Abbott PV: Ledge formation: review of a great challenge in endodontics. *J Endod* 2007; 33: 1155-1162.
- Eleftheriadis GI, Lambrianidis TP: Technical quality of root canal treatment and detection of iatrogenic errors in an undergraduate dental clinic. *Int Endod J* 2005; 38: 725-734.
- Schäfer E, Schulz-Bongart U, Tulus G: Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation: a clinical study. *J Endod* 2004; 30: 432-435.
- Peters OA: Current challenges and concepts in the preparation of root canal systems: a review. *J Endod* 2004; 30: 559-567.
- Bergmans L, Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P: Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: Rationale, performance and safety. Status Report for the American Journal of Dentistry. *Am J Dent* 2001; 14: 324-333.
- Young GR, Parashos P, Messer HH: The principles of techniques for cleaning root canals. *Aust Dent J* 2007; 52 (suppl 1): S52-S63.
- Schäfer E: Relationship between design features of endodontic instruments and their properties. Part 2: instrumentation of curved canals. *J Endod* 1999; 25 56-59.
- Schäfer E: Root canal instruments for manual use: a review. *Endod Dent Traumatol* 1997; 13: 51-64.
- Powell Se, Simon JH, Maxe BB: A comparison of the effect of modified and non-modified instrument tips on apical canal configuration. *J Endod* 1986; 12: 293-300.
- Dummer PMH, Al-Omari MAO, Bryant S: Comparison of the performance of four files with rounded tips during shaping of simulated root canals. *J Endod* 1998; 24: 364-371.
- Sabala CL, Roane JB, Southard LZ: Instrumentation of curved canals using a modified tipped instrument: a comparison study. *J Endod* 1988; 14: 59-64.
- Berutti E, Negro AR, Lendini M, Pascualini D: Influence of manual preflaring and torque on the failure rate of ProTaper rotary instruments. *J Endod* 2004; 30: 228-230.
- Saunders EM: Hand instrumentation in root canal preparation. *Endod Topics* 2005; 10: 163-167.
- al-Omari MA, Dummer PM: Canal blockage and debris extrusion with eight preparation techniques.

- J Endod 1995; 21: 154-158.
28. *Schäfer E*: Effect of four instrumentation techniques on curved canals: a comparison study. J Endod 1996; 22: 685-690.
29. *Goerig AC, Michelich RJ, Schultz HH*: Instrumentation of root canals in molar using the step-down technique. J Endod 1982; 8: 550-554.
30. *al-Omari MA, Dummer PM, Newcome RG*: Comparison of six files to prepare simulated root canals. Part 1. Int Endod J 1992; 25: 57-66.
31. *Ghobashy A, Nagy MM, Obeid MF*: Shaping ability of single versus multi file rotary Ni-Ti system in curved canals. Tanta Dental Journal. Sep. 2015 L.
32. *Dan Z, Shen Y, Peng B, Haapasalo M*: Root canal preparation of mandibular molars with 3 nickel-titanium rotart instruments: a micro-computed tomographic study. J Endod 2014; 40: 1860-1864.

Address: 92-216 Łódź, ul. Pomorska 251
Tel.: +4842 6757418, Fax: +4842 6757418
e-mail: endo@csk.umed.lodz.p

Received: 31st January 2016
Accepted: 21st March 2016