

Shaping ability of three modern rotary instruments in simulated L-curved canals*

Skuteczność opracowania sztucznych kanałów w kształcie litery L nowoczesnymi systemami maszynowymi*

Mateusz Radwański, Michał Łęski, Halina Pawlicka

Zakład Endodoncji, Katedra Stomatologii Zachowawczej i Endodoncji, Uniwersytet Medyczny w Łodzi, Polska
Department of Endodontics, Chair of Conservative Dentistry and Endodontics, Medical University of Lodz, Poland
Head: prof. H. Pawlicka

Abstract

Introduction. One of the challenges in endodontic therapy is preparation of highly curved canals. In everyday practice, stainless steel hand or NiTi mechanical instrumentation is used to achieve shaping procedure. A number of studies reported the superiority of rotary NiTi instruments over stainless steel hand files in root canal preparation. In the last decade, many types of rotary root canal instruments have been introduced. **Aim of the study.** To compare the shaping ability of three rotary instruments in simulated L-curved canals. **Material and methods.** In this experimental study, thirty resin blocks with simulated L-curved canals were used and randomly divided into three groups of ten blocks each. Canals were prepared to apical size 30 according to the recommendations of the manufacturer. Pre- and post-operative images were superimposed with GIMP 2.6 software. The amount of material removed from canal walls, changes of working length and apical transportation were measured and analyzed statistically. **Results.** Hyflex CM Files ensured more central apical preparation and maintained the original shape in this region as compared with other systems. On the other hand, the ProTaper Next instruments removed more resin from the coronal part, ensuring better conicity of this part of the canal with minimum deviation from the original course. In the present study, statistically significant

Streszczenie

Wprowadzenie. Jednym z większych wyzwań dla lekarzy endodontów jest opracowanie kanałów korzeniowych o dużym stopniu zakrzywienia. W codziennej praktyce do opracowania kanału stosowane są narzędzia ręczne wykonane ze stali nierdzewnej oraz niklowo-tytanowe narzędzia maszynowe. Na przestrzeni lat opublikowane wyniki badań jednoznacznie wskazują na przewagę narzędzi niklowo-tytanowych w opracowaniu systemu kanałowego. W ostatnich latach obserwuje się znaczny rozwój narzędzi maszynowych. **Cel pracy.** Celem pracy było porównanie stopnia opracowania sztucznych kanałów korzeniowych w kształcie litery L trzema systemami maszynowymi. **Materiał i metody.** Do badań laboratoryjnych użyto 30 bloczków z żywicy z wykonanymi wewnątrz sztucznymi kanałami zakrzywionymi w kształcie litery L. Bloczki podzielono na 3 grupy, po 10 w każdej. We wszystkich grupach bloczki opracowano do rozmiaru 30 na wierzchołku sekwencją zalecaną przez producenta. Kanały fotografowano przed i po opracowaniu, a uzyskane obrazy nakładano na siebie z użyciem programu komputerowego GIMP 2.6. Mierzono ilość usuniętego materiału ze ścian kanału, zmianę długości roboczej oraz transportację wierzchołka. Uzyskane wyniki poddano analizie statystycznej. **Wyniki.** Biorąc pod uwagę okolice wierzchołkową, najbardziej centralną preparację ze wszystkich porównywanych

KEYWORDS:

rotary nickel-titanium instruments, resin blocks, root canal preparation

HASŁA INDEKSOWE:

niklowo-tytanowe instrumenty w systemach maszynowych, bloczki żywicy, opracowanie kanałów korzeniowych

* Study was financed from the statutory fund: 503/2-044-02/503-01.
* Praca finansowana z funduszu statutowego: 503/2-044-02/503-01

higher difference of working length change was observed for ProTaper Next than Hyflex CM ($p < 0.05$). **Conclusion.** The results of our research indicate comparable shaping abilities of the examined systems in L-curved resin blocks.

Introduction

One of the biggest challenges for endodontists is the preparation of root canals with a high degree of curvature. These situations may cause many complications i.e.: step formation, perforation of the root canal or fracture of instruments. Therefore, in order to decrease the risk of iatrogenic complications it is often recommended to prepare curved root canals to a smaller diameter than straight canals, which in turn can result in an insufficient preparation of the apical portion.^{1,2}

In daily practice, canals are prepared using hand tools made of stainless steel and nickel-titanium machine tools.³ Studies published over the years clearly demonstrated the superiority of nickel-titanium over stainless steel instruments.^{2,3} Nickel-titanium tools, thanks to their elasticity, to a greater extent retain the original course of the canal, while stainless steel instruments tend to straighten narrow or curved canals.⁴

In recent years, a number of machine systems have been introduced on the market. They differ from each other in terms of cross-section, taper, topography of cutting surfaces and apex as well as the percentage weight of nickel-titanium alloy individual components, and the technology of their production.⁵

HyFlex CM tools (Coltene-Whaledent) were produced from nickel-titanium alloy having the reduced weight percentage of nickel (52%) using a unique process of material control memory called patent pending. Thanks to this technology, tools become extremely resilient, but unlike the

systemów zapewniły narzędzia Hyflex CM. Z kolei narzędzia ProTaper Next usunęły znacznie więcej żywicy z koronowej części zapewniając tym samym lepszą stożkowatość tej części kanału z minimalnym odchyleniem od oryginalnego przebiegu. W przypadku przeprowadzonych przez nas badań zaobserwowano istotnie większą zmianę długości kanału w przypadku systemu ProTaper Next niż w przypadku Hyflex CM ($p < 0,05$). **Podsumowanie.** Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają wskazać na zbliżoną skuteczność opracowania zakrzywionych kanałów korzeniowych w kształcie litery L w bloczkach z żywicy ocenianymi systemami narzędzi.

Wprowadzenie

Jednym z wyzwań w leczeniu endodontycznym jest opracowanie zakrzywionych kanałów korzeniowych. W przypadku opracowywania takich kanałów, istnieje ryzyko wytworzenia stopnia, perforacji zęba czy złamania narzędzi. W celu zmniejszenia ryzyka jatrogennych błędów zakrzywione kanały korzeniowe są opracowywane do mniejszej średnicy niż odpowiadające im proste kanały. Oznacza to, że wierzchołkowa część zakrzywionego kanału może zostać opracowana niedostatecznie.^{1,2}

W dzisiejszych czasach, ręczne lub mechaniczne instrumenty są stosowane w celu osiągnięcia procedury opracowania.³ Opublikowane badania wskazują na przewagę maszynowych narzędzi niklowo-tytanowych nad ręcznymi stalowymi narzędziami.^{2,3} Dzięki swojej sprężystości niklowo-tytanowe narzędzia, zachowują oryginalny przebieg kanału lepiej, ponieważ większe stalowe instrumenty mają tendencję do prostowania wąskich lub zakrzywionych kanałów.⁴

W ostatnich latach na rynek wprowadzono wiele systemów maszynowych różniących się między sobą przekrojem, stożkowatością, ukształtowaniem powierzchni tnących i wierzchołką, a także procentową zawartością wagową poszczególnych składników stopu niklowo-tytanowego oraz technologią ich wykonania.⁵

Narzędzia Hyflex CM (Coltene-Whaledent) wyprodukowane zostały ze stopu niklowo-tytanowego o zmniejszonej procentowej zawartości wagowej niklu (52%) przy wykorzystaniu uni-

conventional nickel-titanium files they have no shape memory effect. The tools are capable of highly accurate matching to the anatomy of the canal, thereby reducing the risk of step formation, transportation or perforation. The manufacturer stresses that HyFlex CM are up to 300% more resistant to the cyclic wear than traditional NiTi files.⁶ Excessive resistance causes the tools to straighten coils, which prevents them from being blocked in the canal lumen. Thermal processing (e.g. sterilization by autoclaving) causes the tool to regain the original shape and can be re-used. Unwinding of the coil and failure to return to its original shape after the heat treatment indicates the impossibility of repeated use. The basic HyFlex CM set consists of six tools in two lengths, 21 and 25 mm, except .08/25 orifice opener tool, which is available only in the length of 19 mm.

ProTaper Next System (Dentsply Tulsa Dental Specialities) consists of five tools (X1-X5) marked with colour strips: X1-yellow, X2-red, X3-blue, X4-double black, X5-double yellow. These tools are characterized by variable taper within a single tool and a rectangular, eccentric cross-section, which provides the creeping movement of the file in the root canal. A tool designed in such a way while working contacts the wall of the root canal only at two points, providing more space for debris generated during the preparation of dentine. The process of thermal exposure to nickel-titanium alloy (M-WIRE), which is a component of files, is a novelty. It increases the flexibility of files without altering the effectiveness of cutting, as well as their strength, which reduces the risk of tool fracture when working in the root canal.⁷

A set of insertion instruments eS5 Endostar (Poldent) consists of five machine tools made of nickel-titanium alloy and a size 15 K-file for the initial recanalization. Machine tools are marked with blue stripes. The number of stripes corresponds to the tool number. Tool 1 is available with the length of 18 mm, the remaining lengths are 23 and 28 mm. Tools in cross-section have the shape of a modified NiTi S with two 90° cutting angles, have a prolonged weave and a rounded tip.

There are few studies in Polish literature that compare modern machine systems in terms of root

kanalnego termomechanicznego procesu kontrolującego pamięć materiału (ang. patent pending). Narzędzia są niezwykle sprężyste, ale pozbawione są pamięci kształtu tradycyjnych pilników niklowo-tytanowych. Taki proces wykonania daje narzędziom zdolność do bardzo dokładnego dopasowania się do budowy anatomicznej kanału, zmniejszając ryzyko powstawania stopni, transportacji czy perforacji. Producent podkreśla, że Hyflex CM są do 300% bardziej odporne na cykliczne zużycie niż tradycyjne niklowo-tytanowe pilniki.⁶ Narzędzia, na nadmierny opór, reagują wyprostowaniem spiral, co uniemożliwia ich blokowanie w świetle kanału. Obróbką termiczną (np. sterylizacją w autoklawie), narzędzie odzyskuje pierwotny kształt i może być ponownie wykorzystane. Wyprostowanie spirali i brak powrotu do pierwotnego kształtu po obróbce termicznej świadczy o braku możliwości ich powtórnego użycia. Zestaw podstawowy Hyflex CM zawiera 6 niklowo-tytanowych narzędzi, które dostępne są w dwóch długościach 21 i 25 mm. Jedynie narzędzie .08/25 (orifice opener) jest dostępne w długości 19 mm.

System ProTaper Next (Dentsply Tulsa Dental Specialities) składa się z 5 narzędzi (X1-X5) oznaczonych za pomocą barwnych pasków: X1 – żółty, X2 – czerwony, X3 – niebieski, X4 – podwójny czarny, X5 – podwójny żółty. Narzędzia te charakteryzują się zmienną stożkowatością w obrębie jednego narzędzia oraz prostokątnym, mimośrodkowym przekrojem, który zapewnia pełzający ruch pilnika w kanale korzeniowym. Tak zaprojektowane narzędzie kontaktuje się podczas pracy jedynie w dwóch punktach ze ścianą kanału korzeniowego, zapewniając więcej miejsca dla powstałych podczas opracowywania resztek zębiny. Nowością jest proces działania termicznego na stop niklowo-tytanowy (M-WIRE), z którego wykonane są pilniki. Dzięki temu zwiększa się giętkość pilników bez zmiany efektywności skrawania, a także ich wytrzymałość, co zmniejsza ryzyko złamania narzędzia podczas pracy w kanale korzeniowym.⁷

Zestaw wprowadzający narzędzi eS5 Endostar (Poldent) składa się z 5 narzędzi maszynowych wykonanych ze stopu niklowo-tytanowego oraz



Fig. 1. The rotary nickel-titanium instruments used in this experimental study.

Niklowo-tytanowe systemy maszynowe użyte w badaniu.

canal preparation effectiveness.

The aim of the study was to compare a degree of simulated L-shaped root canals preparation using three machine systems.

Material and methods

In laboratory tests thirty blocks of resin were used (Endo-Training Blocks 02 taper, REFA 0177, Dentsply Maillefer, CH-1338 Ballaigues, Switzerland) with L-shaped, simulated canals created internally. They were made with silver studs, taper of 2% and the top size of ISO 15. The canal length was 17 mm, and the straight line was 11 mm.

The blocks were divided into three groups, ten blocks each. Before working with machine tools, the patency and length of the working canal was confirmed with a hand tool (Kerr file size 15). Before preparation, the blocks were filled with black ink.

The following tools were used in the study: HyFlex CM, ProTaper Next and eS5 Endostar (Fig. 1).

The first group (ten blocks) was prepared using HyFlex CM system tools with the micromotor TECNICA (Dentsply Maillefer) set at 500 rpm and 2.5 Ncm of torque. Prior to initiating the system, the glide path was made using a hand tool (file Kerr 20/.02). Then the sequence of tools recommended by the manufacturer was applied:

- 25/.08 1/3 of the working length;
- 20/.04, 25/.04, 20/.06, 30.04 for the full working length.

pilnika K o rozmiarze 15 do wstępnego udroźnienia kanału. Narzędzia maszynowe oznaczone są niebieskimi paskami. Liczba pasków odpowiada numerowi narzędzia. Narzędzie nr 1 dostępne jest o długości 18 mm, pozostałe o długościach 23 i 28. Narzędzia na przekroju mają kształt zmodyfikowanego NiTi S z dwoma 90° kątami cięcia i charakteryzują się wydłużonym splotem oraz zaokrąglonym wierzchołkiem.

W polskim piśmiennictwie niewiele jest badań porównujących współczesne systemy maszynowe w skuteczności opracowania kanałów korzeniowych.

Celem pracy było porównanie stopnia opracowania sztucznych kanałów korzeniowych w kształcie litery L trzema systemami maszynowymi.

Material i metody

W przeprowadzonych badaniach użyto 30 bloczków z żywicy (Endo-Training Blocks 02 taper, REFA 0177, Dentsply Maillefer, CH-1338 Ballaigues, Switzerland) z wykonanymi wewnątrz, sztucznymi kanałami w kształcie litery L. Kanały wyprodukowano z użyciem ćwieków srebrnych o stożkowatości 2% i rozmiarze na wierzchołku ISO 15. Długość kanału (WL) wynosiła 17 mm, a odcinek prosty miał 11 mm.

Bloczki podzielono na 3 grupy, po 10 bloczków w każdej. Przed przystąpieniem do pracy narzędziami maszynowymi potwierdzono drożność i długość roboczą kanału narzędziem ręcznym (pilnik Kerra- rozmiar 15). Bloczki przed opracowaniem zostały wypełnione czarnym tuszem.

Do badań wykorzystano narzędzia Hyflex CM, ProTaper Next oraz eS5 Endostar (Fig. 1).

Pierwszą grupę (10 bloczków) opracowano narzędziami systemu Hyflex CM z użyciem mikrosilnika TECNICA (Dentsply Maillefer) ustawionego na 500 obrotów na minutę oraz 2,5 Ncm momentu obrotowego. Przed pracą systemem wykonano tor wprowadzenia (glide path) narzędziem ręcznym (pilnik Kerra 20/.02). Następnie zastosowano sekwencję narzędzi zalecaną przez producenta:

- 25/.08 na 1/3 długości roboczej (WL)
- 20/.04, 25/.04, 20/.06, 30/.04 na pełną długość roboczą (17 mm).

The second group (ten blocks) was prepared using ProTaper Next tools with the micromotor TECNIKA (Dentsply Maillefer) set at 300 rpm and 2 Ncm of torque. Prior to initiating the system, the glide path was made using Path Files instruments: P1, P2 (Dentsply Maillefer). Then the sequence of tools recommended by the manufacturer was applied:

- X1 (17/.04), X2 (25/.06), X3 (30/.07) for the full working length.

The third group of ten blocks was prepared using the eS5 Endostar tools with the sequence recommended by the manufacturer using the micromotor S5 Endo Motor (Sendoline) which allows setting appropriate rpm and torque parameters, depending on the tool used. The crown portion of canals was prepared with a file No. 1 (30/.08) to reach half of the working length. Then, the full working length of the canal was prepared with a Kerr file size ISO 20/.02 and the work with eS5 tools began, starting with the tool No. 2 (30/.06). Until the working length was reached, the following tools were alternately used: No. 3 (30/.04), No. 4 (25/.04) and No. 5 (20/.04). Then the top portion of the simulated canal was extended starting with the file No. 5 (20/.04) and No. 4 (25/.04), and ending with the file No. 3 (30/.04).

Canals of all study groups were prepared at the apex up to the size of ISO 30. Each tool was used once. Although HyFlex tools returned to their original shape after heat treatment, it was decided to use them once, due to the research reports stressing that the oxidation of titanium, which takes place in the autoclave, reduces flexibility of the tool, which lowers productivity and increases the risk of tool breakage.^{8,9}

Before and after preparation the blocks were set in a fixed position and photographed. The pictures were taken using a Canon camera EOS 600D with Tamron AF 18-200mm lens, F 3.5-6.3 together with a ring Meike C-AF. The following parameters were set: time 1/250, F 6.3, ISO 400, colour temperature 4000K, the value of the ring 52. The distance of the lens from the blocks during photographing was 20 cm. Pictures were recorded in the form of JPEG files, which were superimposed onto each other using GIMP 2.6.

Drugą grupę (10 bloczków) opracowano narzędziami ProTaper Next z użyciem mikrosilnika TECNIKA (Dentsply Maillefer) ustawionego na 300 obrotów na minutę oraz 2 Ncm momentu obrotowego. Przed pracą systemem wykonano glide path narzędziami Path Files: P1, P2 (Dentsply Maillefer). Następnie zastosowano sekwencję narzędzi zalecaną przez producenta:

- X1 (17/.04), X2 (25/.06), X3 (30/.07) na pełną długość roboczą (17 mm).

Trzecią grupę (10 bloczków) opracowano przy użyciu narzędzi eS5 Endostar sekwencją zalecaną przez producenta z użyciem mikrosilnika S5 Endo Motor (Sendoline) umożliwiającego ustawienie odpowiednich parametrów obrotów na minutę i momentu obrotowego w zależności od użytego narzędzia. Część koronową kanałów opracowano pilnikiem nr 1 (30/.08) aż do osiągnięcia połowy długości roboczej. Następnie opracowano kanał na pełnej długości roboczej pilnikiem Kerra o rozmiarze ISO 20/.02 i rozpoczęto pracę narzędziami eS5, począwszy od narzędzia nr 2 (30/.06). Do momentu osiągnięcia długości roboczej pracowano na przemian narzędziami o numerach 3 (30/.04), 4 (25/.04) oraz 5 (20/.04). Następnie poszerzono część wierzchołkową sztucznego kanału zaczynając od pilnika o numerze 5 (20/.04) i 4 (25/.04), skończywszy na pilniku numer 3 (30/.04).

Kanały wszystkich badanych grup zostały opracowane na wierzchołku do rozmiaru ISO 30. Każde narzędzie było użyte jeden raz. W przypadku narzędzi Hyflex, mimo ich powrotu do pierwotnego kształtu po procesie obróbki termicznej, zdecydowano się na jednorazowe stosowanie. Istnieją bowiem doniesienia badawcze zwracające uwagę na fakt, iż w autoklawie dochodzi do utleniania się tytanu, w wyniku czego zmniejsza się giętkość narzędzi, co wpływa na obniżenie wydajności pracy i zwiększenie ryzyka złamania narzędzia.^{8,9}

Bloczki przed i po opracowaniu były fiksowane w stałej pozycji i fotografowane. Do wykonania zdjęć użyto aparatu firmy Canon EOS 600D używając obiektywu Tamron AF 18-200mm, F 3,5-6,3 razem z pierścieniem MeiKe C-AF. Ustawiono następujące parametry: czas 1/250, F 6,3, ISO 400, temperatura barwy 4000K, wartość pierścienia 52. Odległość obiektywu od bloczków podczas foto-

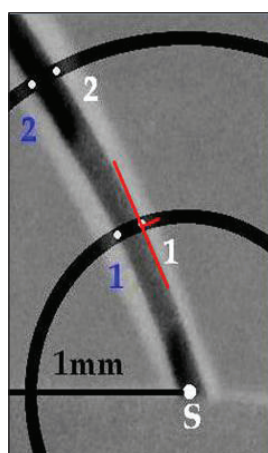


Fig. 2. Measurement of the amount of material removed during shaping procedure (S – apex of the canal).

Pomiar ilości materiału usuniętego po opracowaniu (S – wierzchołek kanału).

Measuring points were determined by plotting ten circles; the centre was created by the apex of the canal before preparation. The circles were spaced about 1 mm, resulting in twenty measurement points, ten on each wall. Intersections of circles with canal walls before preparation were taken as measurement points.

The following were evaluated: the average amount of the material removed from the outer (greater curvature) and inner (lesser curvature) wall, a change of the working length and transportation of the apex. The apex reference point, i.e. the entrance to the simulated canal was specified as the apex.

The average amount of material removed both from the greater and lesser curvature marked the distance between the measuring point and the wall of the canal after the preparation. Measurements were made in GIMP 2.6 software with an image enlargement of 200x and accuracy of 0.01 mm (Fig. 2). In order to facilitate measurement, colours were sharpened, and the image was enlarged 200x.

A change of the working length was measured after preparation with an endodontic ruler and using a magnifying glass. Measurements were taken with an accuracy of 0.25 mm. There was a change in the length in relation to the length of the canal before preparation (17 mm).

grafowania wynosiła 20 cm. Zdjęcia zapisywano w postaci plików JPG. Następnie zdjęcia przed i po opracowaniu nakładano na siebie przy użyciu programu GIMP 2.6. Punkty pomiarowe wyznaczano przez wykreślenie okręgów, których środkiem był wierzchołek kanału przed opracowaniem. Pierwszy okrąg miał promień 1 mm, każdy kolejny o 1 mm większy. Uzyskując 10 okręgów otrzymano 20 punktów pomiarowych, po 10 na każdej ścianie. Punkty pomiarowe to miejsca przecięcia okręgów ze ścianami kanału przed opracowaniem.

W celu oceny opracowania, ocenie poddano średnią ilość materiału usuniętego na różnych poziomach kanału korzeniowego, zmianę długości roboczej oraz transportację wierzchołka. Wierzchołkowy punkt referencyjny, tj. wejście do sztucznego kanału określono w pracy jako wierzchołek.

Średnią ilość usuniętego materiału wyznaczała odległość pomiędzy punktem pomiarowym a ścianą kanału po opracowaniu. Pomiarów dokonano w programie GIMP 2.6. prostopadle do ściany kanału przed opracowaniem z dokładnością do 0.01mm. (Fig.2). W celu ułatwienia pomiarów kolory wyostrzono, a uzyskany obraz powiększono 200x

Kończową długość roboczą mierzono po opracowaniu za pomocą linijki endodontycznej z wykorzystaniem lupy z dokładnością do 0,25 mm. Odnotowywano zmianę długości w stosunku do długości kanału przed opracowaniem (17 mm).

Transportację, czyli przesunięcie wierzchołka w stronę zewnętrzną lub wewnętrzną określano, wyznaczając różnicę pomiędzy średnią ilością usuniętego materiału ze ściany zewnętrznej kanału a średnią ilością materiału usuniętego ze ściany wewnętrznej kanału (odpowiednio 1 punkt pomiarowy dla zewnętrznej, jak i wewnętrznej ściany kanału). Jeżeli otrzymany wynik był wartością ujemną, to następowało przesunięcie wierzchołka na wewnętrzną ścianę kanału. Z kolei wynik dodatni oznaczał transportację na zewnętrzną ścianę kanału.

Wyniki poddano analizie statystycznej wykorzystując program Statistica 6.0. Do opisu wyników obliczono parametry statystyczne: średnią arytmetyczną (\bar{x}), medianę (Me), odchylenie standardowe (SD). Podano także wartość minimalną

Transportation, that is a move of the tip outwards or inwards, was determined by indicating the difference between the average quantity of the material removed from the outer canal wall and the average amount of material removed from the inner canal wall (one measuring point for the external and internal canal wall respectively). If the result was negative, the tip was moved to the inner wall of the canal. In turn, a positive value meant transportation to the outer wall of the canal.

The results were statistically analyzed using the Statistica 6.0 program. In order to describe the results, the following statistical parameters were calculated: arithmetic mean (\bar{x}), median (Me), and standard deviation (SD). Also minimum and maximum values were given. Then the results were statistically analyzed using the Kruskal-Wallis test to compare the three systems, and the Mann-Whitney test was applied for pair wise comparisons of the systems. Statistical significance of these results was set at the level of significance $p < 0.05$.

Results

The amount of the material removed

The average amount of the material removed from the greater curvature (outer wall) is presented in Table 1.

Taking into account the results, statistically significant differences were found at seven measuring points (4, 5, 6, 7, 8, 9 and 10). The differences did not affect the HyFlex CM and ProTaper Next systems. At measuring points 4, 5, 9 and 10, statically significant differences were reported between HyFlex CM and eS5 Endostar. The average larger amounts of the material removed were observed for the HyFlex CM system. In turn, at points 4, 6, 7, 8, 9 and 10, significantly larger amounts of the material were observed for the ProTaper Next system compared with eS5 Endostar.

The average amount of the removed material from the lesser curvature (inner wall) is shown in Table 2.

Analyzing the average amount of the material removed from the lesser curvature of the canal,

i maksymalną. Następnie wyniki poddano analizie wykorzystując test Kruskala-Wallisa do porównania trzech systemów łącznie oraz test Manna-Whitney'a w celu porównań systemów parami. Poziom istotności wynosił $p < 0,05$.

Wyniki

Ilość usuniętego materiału

Średnią ilość usuniętego materiału z krzywizny większej (ściana zewnętrzna) przedstawia tabela 1.

Biorąc pod uwagę uzyskane wyniki, statystycznie istotne różnice stwierdzono w 7 punktach pomiarowych (4, 5, 6, 7, 8, 9 i 10). Różnice nie dotyczyły systemów Hyflex CM oraz ProTaper Next. W punktach pomiarowych 4, 5, 9 oraz 10 odnotowano istotne statycznie różnice pomiędzy Hyflex CM a eS5 Endostar. Średnie większe ilości usuniętego materiału obserwowano dla systemu Hyflex CM. Z kolei w punktach 4, 6, 7, 8, 9 oraz 10 istotnie większe ilości materiału zaobserwowano dla systemu ProTaper Next w porównaniu z systemem eS5 Endostar.

Średnią ilość usuniętego materiału z krzywizny mniejszej (ściana wewnętrzna) przedstawia tabela 2.

Analizując średnią ilość materiału usuniętego z krzywizny mniejszej kanału stwierdzono istotną statystyczną różnicę pomiędzy porównywanymi systemami aż w 9 punktach pomiarowych. W przypadku punktów pomiarowych: 2, 3, 4, 5, 6 oraz 7 odnotowano statystyczną różnicę pomiędzy systemami Hyflex CM a eS5 Endostar. Większe średnie ilości zaobserwowano dla kanałów opracowanych systemem eS5 Endostar. Z kolei w punktach pomiarowych: 6, 7, 8, 9 oraz 10 większą istotną średnią ilość usuniętego materiału odnotowano dla systemu ProTaper Next w porównaniu z Hyflex CM. Istotną statystycznie różnicę pomiędzy systemami ProTaper Next a eS5 Endostar stwierdzono w punktach pomiarowych: 3, 4, 5, 8, 9 oraz 10. W punktach 3, 4 oraz 5 większe średnie ilości materiału usunął system eS5 Endostar, natomiast w punktach 8, 9 oraz 10 system ProTaper Next.

Table 1. Mean material removed [mm] and standard deviation at different measuring points of outer canal wall after instrumentation. (significant differences between the systems are marked with the same symbol)

		Outer canal wall (mm from the apex)									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hyflex CM											
Mean		0.1193	0.1565	0.1813	0.1801*	0.1429*	0.0967	0.1631	0.2413	0.3013*	0.3178*
SD		0.0176	0.0213	0.0324	0.0365	0.0410	0.0225	0.0538	0.0454	0.0406	0.0196
ProTaper Next											
Mean		0.1348	0.1826	0.1694	0.1892 ^o	0.1118	0.1342 ^o	0.2101 ^o	0.2723 ^o	0.3381 ^o	0.3594 ^o
SD		0.0247	0.0597	0.0676	0.0546	0.0279	0.0334	0.0366	0.0473	0.0470	0.0475
eS5 Endostar											
Mean		0.1258	0.1702	0.1532	0.1233*/ ^o	0.0964*	0.0638 ^o	0.1343 ^o	0.2001 ^o	0.2291*/ ^o	0.2138*/ ^o
SD		0.0165	0.0226	0.0211	0.0271	0.0224	0.0198	0.0278	0.0188	0.0239	0.0315
P value		p>0.05	p>0.05	p>0.05	p<0.01*/ ^o	p<0.05*	p<0.001 ^o	p<0.01 ^o	p<0.01 ^o	p<0.05* p<0.001 ^o	p<0.01* p<0.001 ^o

a significant statistical difference was reported between the compared systems at as many as nine measuring points. At measuring points 2, 3, 4, 5, 6 and 7, a statistical significance was observed between systems HyFlex CM and eS5 Endostar. The larger average amount was observed for canals prepared using the Endostar eS5 system. On the other hand, at the measuring points 6, 7, 8, 9 and 10, more significant average quantity of the removed material was observed for the ProTaper Next system compared with HyFlex CM. A statistically significant difference between the ProTaper Next and eS5 Endostar systems was observed at the measuring points 3, 4, 5, 8, 9 and 10. At points 3, 4 and 5, greater average amount of the material was removed by eS5 Endostar system, while at points 8, 9 and 10 by the Next ProTaper system.

Change in the working length

The comparison of a change in the working length is shown in Figure 3.

The highest mean loss of the working length was observed in the ProTaper Next system, the

Zmiana długości roboczej

Porównanie zmiany długości roboczej przedstawia rycina 3.

Największą średnią utratę długości roboczej zaobserwowano w przypadku systemu ProTaper Next, najmniejszą w przypadku Hyflex CM. Po porównaniu systemów parami, wykazano, istotnie statystycznie większą zmianę długości kanału w przypadku systemu ProTaper Next niż w przypadku Hyflex CM ($p<0,05$).

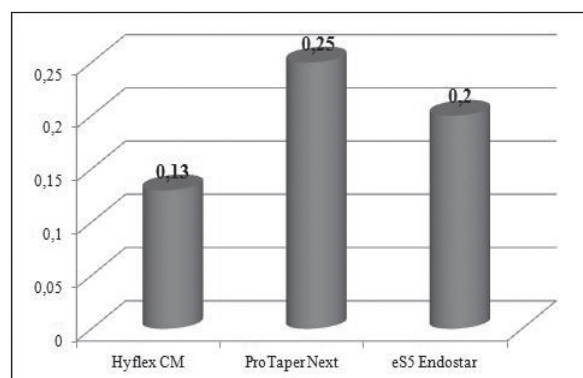
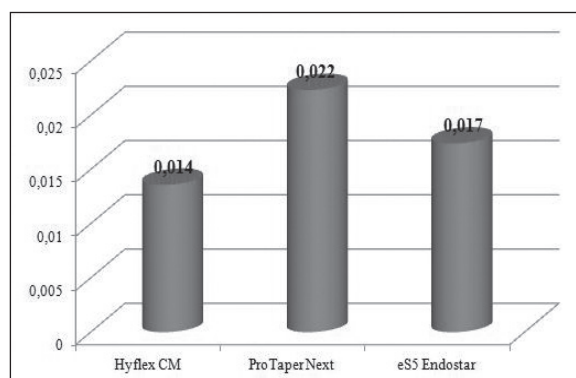
Transportacja wierzchołka

Porównanie transportacji wierzchołka kanału przedstawia rycina 4.

W dwóch przypadkach dla systemu Hyflex CM, w trzech dla ProTaper Next i eS5 Endostar stwierdzono transportację w stronę wewnętrzną (wynik ujemny). W pozostałych przypadkach wynik był dodatni (transportacja w stronę zewnętrzną). Wyniki średnie transportacji okazały się dla wszystkich systemów dodatnie. Transportacja wierzchołka w przypadku porównywanych narzędzi nie była jednak istotna statystycznie ($p>0,05$).

Table 2. Mean material removed [mm] and standard deviation at different measuring points of inner canal wall after instrumentation. (significant differences between the systems are marked with the same symbol)

	Inner canal wall (mm from the apex)									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Hyflex CM										
Mean	0.1057	0.0967*	0.1048*	0.1485*	0.2185*	0.2738*/ ^o	0.2333*/ ^o	0.1925*	0.1700*	0.1556*
SD	0.0130	0.0173	0.0228	0.0203	0.0173	0.0305	0.0347	0.0331	0.0292	0.0203
ProTaper Next										
Mean	0.1125	0.1154	0.1294 ^o	0.1873 ^o	0.3312 ^o	0.4126 ^o	0.3940 ^o	0.3560*/ ^o	0.2749*/ ^o	0.2797*/ ^o
SD	0.0230	0.0235	0.0197	0.0379	0.0914	0.1063	0.0816	0.0747	0.0618	0.0754
eS5 Endostar										
Mean	0.1084	0.1347*	0.1987*/ ^o	0.3078*/ ^o	0.4406*/ ^o	0.4518*	0.2995*	0.2097 ^o	0.1584 ^o	0.1186 ^o
SD	0.0192	0.0184	0.0218	0.0368	0.0331	0.0333	0.0229	0.0148	0.0118	0.0187
P value	p>0.05	p<0.01*	p<0.001* p<0.01 ^o	p<0.001* p<0.01 ^o	p<0.001* p<0.05 ^o	p<0.01* p<0.001 ^o	p<0.001* p<0.05 ^o	p<0.001* p<0.01 ^o	p<0.01* p<0.001 ^o	p<0.05* p<0.001 ^o

**Fig. 3.** The mean value of working length loss [mm].
Średnia wartość utraty długości roboczej [mm].**Fig. 4.** The mean value of apical transportation.
Średnia wartość transportacji wierzchołka.

smallest in the HyFlex CM. After comparing the systems in pairs, a significantly greater change in the canal length was shown in the ProTaper Next system than the HyFlex CM ($p < 0.05$).

Transportation of the apex

Comparison of the transportation of the apex of the canal is shown in Figure 4.

Transportation inwards (a negative result) was

Omówienie wyników i dyskusja

Podczas opracowywania zakrzywionych kanałów korzeniowych najważniejsze jest prawidłowe ich ukształtowanie z zachowaniem oryginalnego przebiegu bez zmiany położenia otworu wierzchołkowego. Procedura kształtowania kanałów powinna być również pozbawiona deformacji w postaci: aberracji typu zamek/łokieć, wykonania perforacji czy złamania narzędzia.¹⁰ Ostateczny rezultat za-

found in two cases of the HyFlex CM system, and in three cases of ProTaper Next and eS5 Endostar. In other cases, the result was positive (transportation outwards). Mean results of transportation proved to be positive for all systems. Transportation of the apex for comparable tools was not statistically significant ($p > 0.05$).

Discussion

Obtaining the correct shape is crucial in the preparation of curved root canals, the original waveform should be preserved with no change in the position of the apical foramen. The procedure of forming the canals should also be free of deformation such as: aberration type zip/elbow, perforation or tool breakage.¹⁰ The final result depends on many factors, i.e. elasticity and diameter of the used tool, preparation technique, apical foramen location or the hardness of dentine. Studies indicate a smaller risk of these errors during the preparation of root canals using machine tools made of nickel-titanium alloy.^{3,4}

The construction of rotary tools also affects the emergence of errors during the preparation of root canals. These include the shape of the tip of the tool, convergence/taper, radial land and rake angle.¹¹

Cutting, active tip makes the work with a tool more aggressive. Tools with such an end have the ability to penetrate the narrow, heavily obliterated canals, but the canal preparation entails a greater risk of iatrogenic complications.¹² The compared systems are characterized by non-cutting, pilot tip, which slides over the wall of the canal, and the preparation is carried out by the distal portion of the instrument.

Convergence/taper is a degree at which a tool diameter increases from the tip to the holder. HyFlex CM and eS5 Endostar tools are characterized by constant taper, while ProTaper Next has a variable taper within the tool. *Schaefer et al.*¹³ emphasize that the increasing taper reinforces the tool, but also increases the rigidity of its tip, so they recommend not to use nickel-titanium tools with taper greater than 4% to prepare the area of heavily curved canals. *Barankiewicz and Pawlicka*¹⁴ add that the preservation of the natural course and the

leży od wielu czynników, tj.: sprężystości i średnicy używanego narzędzia, techniki opracowania, lokalizacji otworu wierzchołkowego czy twardości zębiny. Badania wskazują na mniejsze ryzyko powstawania wymienionych błędów podczas opracowania kanałów korzeniowych z wykorzystaniem narzędzi maszynowych wykonanych ze stopu niklowo-tytanowego.^{3,4}

Na powstawanie błędów w trakcie opracowywania kanałów korzeniowych, ma także wpływ budowa narzędzi rotacyjnych, tj.: kształt wierzchołka narzędzia, zbieżność/stożkowatość, promienista powierzchnia styku (radial land) oraz kąt ścinania (rake angle).¹¹

Tnący, aktywny wierzchołek sprawia, że praca narzędziem jest bardziej agresywna. Narzędzia tak zakończone mają zdolność do penetracji wąskich, mocno zobliterowanych kanałów, ale opracowywanie kanału niesie za sobą większe ryzyko powikłań jatrogennych.¹² Porównywane systemy charakteryzuje nietnący, pilotujący wierzchołek, który ślizga się po ścianie kanału, a opracowywanie wykonywane jest dalszą częścią instrumentu.

Zbieżność/stożkowatość jest to stopień zwiększenia średnicy narzędzia od wierzchołka do uchwytu. Narzędzia Hyflex CM oraz eS5 Endostar charakteryzują się stałą stożkowatością, natomiast ProTaper Next zmienną stożkowatością w obrębie narzędzia. *Schäfer* i wsp.¹³ podkreślają, że wzrastająca stożkowatość wzmacnia narzędzie, ale zwiększa jednocześnie sztywność jego wierzchołka, dlatego zalecają, aby narzędzia niklowo-tytanowe o stożkowatości większej niż 4% nie były stosowane do opracowywania okolicy mocno zakrzywionych kanałów. *Barankiewicz i Pawlicka*¹⁴ dodają, że zachowanie naturalnego przebiegu i położenia otworu wierzchołkowego jest wynikiem stosowania pilników o mniejszych rozmiarach i mniejszej stożkowatości.

Kąt ścinania (rake angle) jest kątem nachylenia ostrzy narzędzia i ma wpływ na wydajność opracowania.¹⁵ Narzędzia rotacyjne mogą charakteryzować się ujemnym, neutralnym i dodatnim kątem cięcia. Ujemny kąt ścinania powoduje, że narzędzie nie tnie, a „ściera” opracowywaną powierzchnię, dodatkowo rozgniatając zeszkrobany materiał i wciskając go w kanaliki zębiny. Dodatni

position of the apex hole is the result of using files of smaller size and lower taper.

The rake angle is the angle of inclination of tool cutting edges and affects the quality of preparation.¹⁵ Rotary tools may have a negative, neutral or positive cutting angle. A negative rake angle causes that a tool does not cut, but “scrapes” over the prepared surface, additionally crushing the scraped material and pushing it into the dentinal tubules. A positive and neutral cutting angle causes chips of dentine/removed material to get between blades and move towards the estuary beyond the canal.¹⁵ The compared tools are characterized by a positive rake angle.

The assessment of canal preparation in the presented study used blocks made of resin. The advantage of this type of model for the assessment of the comparison is standardization of the angle and radius of canal curvature and the size and taper of its lumen.¹⁶ *Calberson et al.*¹⁷ and *Rangel et al.*¹⁸ pay attention to the difference in hardness between the dentine and resin, from which blocks are built. Additionally, heat generated during the preparation can contribute to the softening of the resin and blocking the cutting surface of the tool, thereby leading to the inefficient preparation of the canal.¹⁹ Although a simulated canal does not reflect the complex morphology of the root canal, tests using the block model are highly valued.¹⁷⁻¹⁹ According to some authors, the results are consistent with those obtained in studies carried out on natural teeth.²⁰

The analysis included the assessment of retaining apical foramen, loss of working length and transportation of the apex. It is important to maintain an identical size at the apex when comparing the preparation of root canals.²¹ All used tool systems have the same size at the apex, which amounted to 30 according to ISO, and differed only in terms of taper. In the first (HyFlex CM) and third (eS5 Endostar) group of tools taper was .04, while for the second group of tools (ProTaper Next) it was .07.

Laboratory studies compared the average amount of material removed from the greater and lesser curvature of the canal. Determination of measuring points was based on the method

i neutralny kąt cięcia powoduje dostawanie się opiłków zębiny/usuwanego materiału pomiędzy ostrza i ich przesuwanie w kierunku ujścia poza kanał.¹⁵ Porównywane narzędzia charakteryzują się dodatnim kątem ścinania.

W przedstawionym badaniu do oceny opracowania kanałów wykorzystane zostały bloczki z żywicy. Zaletą tego typu modelu oceny porównania jest standaryzacja kąta i promienia krzywizny kanału oraz rozmiaru i stożkowatości jego światła.¹⁶ *Calberson i wsp.*¹⁷ oraz *Rangel i wsp.*¹⁸ zwracają uwagę na różnicę w twardości pomiędzy zębina a tworzywem żywicznym, z którego wykonane są bloczki. Generowane dodatkowo ciepło podczas preparacji może przyczyniać się do zmiękczenia żywicy i blokowania powierzchni tnących używanego narzędzia, prowadząc tym samym do nieefektywnego opracowania kanału.¹⁹ Chociaż sztuczny kanał nie odzwierciedla skomplikowanej morfologii kanału korzeniowego, to jednak badania z wykorzystaniem modelu bloczkowego są wysoko cenione.¹⁷⁻¹⁹ Według niektórych autorów uzyskane wyniki są zgodne z wynikami uzyskiwanymi w przypadku badań przeprowadzanych na zębach naturalnych.²⁰

Analizie poddano ocenę zachowania otworu wierzchołkowego, utratę długości roboczej oraz transportację wierzchołka.

W przypadku porównywania opracowania kanałów korzeniowych ważne jest zachowanie identycznego rozmiaru na wierzchołku.²¹ Wszystkie zastosowane systemy narzędzi miały ten sam rozmiar na wierzchołku, który wynosił 30 wg ISO, różniły się jedynie stożkowatością. W przypadku narzędzi grupy pierwszej (Hyflex CM) i trzeciej (eS5 Endostar) stożkowatość wynosiła .04, natomiast dla narzędzi grupy drugiej (ProTaper Next).07.

W przeprowadzonych badaniach laboratoryjnych porównywano średnią ilość materiału usuniętego z krzywizny większej i mniejszej kanału. Do wyznaczenia punktów pomiarowych wykorzystano metodę proponowaną wcześniej w badaniach *Schäfer i Lohmann*,³ *Yang i wsp.*²² oraz *Barankiewicz i Pawlickiej*¹⁴ polegającą na wyznaczeniu punktów pomiarowych z użyciem okręgów ze wzrastającym promieniem.

previously proposed by Schäfer and Lohmann³, Yang et al.²² and Barankiewicz and Pawlicka¹⁴ and involved a determination of measurement points using circles with an increasing radius.

The maintenance of the original canal axis is a major parameter determining the usefulness of tools to prepare root canals.⁴ In the conducted studies all of the compared systems satisfactorily prepared L-shaped curved canals. Taking into account the apical area, HyFlex CM tools provided the most central preparation among all the compared systems. In turn, ProTaper Next tools removed much more coronal portion of the resin, thereby providing improved taper of this part of the canal with minimal deviation from the original waveform. The analysis revealed the larger amount of the material removed both from the greater and lesser curvature in the ProTaper Next system, which probably resulted from the larger taper of tools in comparison with other systems (HyFlex CM and eS5 Endostar).

Another examined parameter was the loss of working length. A precise determination of the measurement working length is one of the key components in the procedure of endodontic treatment and determines clinical success, particularly in canals with complex morphology and the presence of curvature.²³ In the clinical setting, the measurement of the working length is affected by such factors as: the sensitivity of an electronic measuring apparatus, preparation technique, root canal morphology and mechanical obstacles like blockage of the apical dentine by filings.²⁴

Barankiewicz and Pawlicka¹⁴ believe that the observed loss of the working length can have several causes. Firstly, the larger diameter at the tip of the tool reduces its flexibility and leads to straightening of the curved canal, thereby changing its length. A change in the working length can also result from the rapid wear of files and inappropriate cutting of the material from the walls of the canal. Not without significance is the phenomenon of pulling files into the lumen and their tendency to screw into the block material/dentine of the canal.¹⁴

The loss of working length was not observed after

Zachowanie pierwotnej osi kanału jest istotnym parametrem określającym przydatność narzędzi do opracowania kanałów korzeniowych.⁴ W przypadku przeprowadzonych badań wszystkie z porównywanych systemów w zadowalającym stopniu opracowały kanały zakrzywione w kształcie litery L. Biorąc pod uwagę okolicę wierzchołkową, najbardziej centralną preparację ze wszystkich porównywanych systemów zapewniły narzędzia Hyflex CM. Z kolei narzędzia ProTaper Next usunęły znacznie więcej żywicy z koronowej części zapewniając tym samym lepszą stożkowatość tej części kanału z minimalnym odchyleniem od oryginalnego przebiegu. Obserwowane podczas analizy większe ilości usuniętego materiału zarówno z krzywizny większej, jak i mniejszej w przypadku systemu ProTaper Next wynikają zapewne z większej stożkowatości narzędzi w porównaniu z pozostałymi systemami (Hyflex CM i eS5 Endostar).

Kolejnym parametrem poddanym ocenie była utrata długości roboczej. Precyzyjne oznaczenie roboczej długości pomiarowej stanowi jeden z kluczowych elementów postępowania endodontycznego i determinuje kliniczny sukces leczenia, szczególnie w kanałach o skomplikowanej morfologii oraz w przypadku występowania krzywizny.²³ W warunkach klinicznych na pomiar długości roboczej mają wpływ takie czynniki, jak: czułość elektronicznego urządzenia pomiarowego, technika pracy, morfologia kanału korzeniowego oraz przeszkody mechaniczne w postaci zablokowania opiłkami zębiny okolicy wierzchołkowej.²⁴

Barankiewicz i Pawlicka¹⁴ uważają, że obserwowana utrata długości roboczej może mieć kilka przyczyn. Po pierwsze, większa średnica narzędzia na wierzchołku zmniejsza jego elastyczność i prowadzi do prostowania zakrzywionego kanału, tym samym zmieniając jego długość. Po drugie, na zmianę długości roboczej wpływa również szybkie zużycie pilników i nieodpowiednie skrawanie materiału ze ścian kanału. Nie bez znaczenia pozostaje zjawisko wciągania pilników do światła kanału oraz ich tendencja do wkręcania się w materiał boczka/ zębiny kanału.¹⁴

Utraty długości roboczej nie stwierdzono po instrumentacji kanałów narzędziami S5.²⁵ W piśmiennictwie można jednak znaleźć badania, które

instrumentation of canals using S5 tools.²⁵ There are studies in literature, however, which indicate that the preparation of canals using nickel-titanium machine tools tends to alter the working length, and the differences between the compared groups are statistically insignificant.^{3,26,27} In their study comparing ProTaper Next and ProTaper Universal tools, *Łęski et al.*²⁸ observed the smaller mean loss of working length in the case of simulated L-shaped canals prepared using ProTaper Next tools. Studies of eS5 Endostar and ProTaper systems reported significantly smaller static loss of the working length for blocks prepared using eS5 Endostar tools.²⁹ *Saber et al.*³⁰ in tests of ProTaper Next, iRaCe and HyFlex CM tools found that the use of ProTaper Next instruments results in a greater straightening of the canal curvature than in other rotary systems. This difference was also statistically significant. The larger straightening of the canal length results in a greater loss of the working length.³⁰ Our experiments showed a significantly greater change in the canal length for the ProTaper Next system than HyFlex CM.

The last examined parameter was transportation of the apex, or excessive removal of the material on the inside of the curvature, which at the opposite side is accompanied by too large removal of the resin material in the apical portion.

In our studies, the majority of prepared canals demonstrated transportation on the external wall. The average results of transportation did not prove to be statistically significant. In their studies of HyFlex CM and Twisted Files systems *Kumar et al.*³¹ and *Zhao et al.*³² did not obtain statistical significance, either. Comparing the eS5 Endostar and ProTaper systems the authors also demonstrated no statistically significant difference.²⁹ The study comparing the ProTaper Next with ProTaper Universal system revealed a significant statistical difference.²⁸ Smaller transportation on the outer wall was observed in the case of L-shaped curved canals prepared using the ProTaper Next system.²⁴

Conclusion

The study results indicate a similar efficacy in the preparation of curved L-shaped root canals in

wskazują, że opracowanie kanałów maszynowymi narzędziami niklowo-tytanowymi sprzyja zmianie długości roboczej, a różnice między porównywanymi grupami są nieistotne statystycznie.^{3,26,27} *Łęski i wsp.*²⁸ w swoich badaniach porównujących narzędzia ProTaper Next i ProTaper Universal, mniejszą średnią utratę długości roboczej zaobserwowali w przypadku sztucznych kanałów w kształcie litery L opracowanych przy użyciu narzędzi ProTaper Next. W przeprowadzonych badaniach nad systemami eS5 Endostar i ProTaper mniejszą istotnie statystyczną utratę długości roboczej zaobserwowano dla bloczków opracowanych narzędziami eS5 Endostar.²⁹ *Saber i wsp.*³⁰ w badaniach narzędzi ProTaper Next, iRaCe oraz Hyflex CM stwierdzają, że użycie instrumentów ProTaper Next skutkuje większym prostowaniem krzywizny kanału niż w przypadku użycia pozostałych systemów rotacyjnych. Różnica ta również okazała się istotna statystycznie. Większe prostowanie kanału skutkuje większą utratą długości roboczej.³⁰ W przypadku przeprowadzonych przez nas badań zaobserwowano istotnie większą zmianę długości kanału w przypadku systemu ProTaper Next niż w przypadku Hyflex CM.

Ostatnim parametrem poddanym ocenie była transportacja wierzchołka, czyli nadmierne usunięcie materiału po wewnętrznej stronie krzywizny, któremu towarzyszy po stronie przeciwnej zbyt duże usunięcie materiału żywicznego w części wierzchołkowej.

W przypadku przeprowadzonych przez nas badań, w większości opracowanych kanałów stwierdzono transportację na ścianie zewnętrznej. Średnie wyniki transportacji nie okazały się jednak istotne statystycznie. *Kumar i wsp.*³¹ oraz *Zhao i wsp.*³² w badaniach systemów Hyflex CM oraz Twisted Files nie uzyskali również istotności statystycznej. Autorzy porównujący system eS5 Endostar i ProTaper również nie wykazali istotnie statystycznej różnicy.²⁹ W badaniu porównującym system ProTaper Next z ProTaper Universal stwierdzono istotną różnicę statystyczną.²⁸ Mniejszą transportację na ścianie zewnętrznej obserwowano w przypadku kanałów zakrzywionych w kształcie litery L opracowanych systemem ProTaper Next.²⁴

resin blocks using tools belonging to the assessed systems. During the procedure, no tools fractured and there was no aberration in the course of the canal. Therefore, it can be concluded that the compared systems are safe to prepare even curved canals. The compliance with manufacturer's instructions reduces the risk of iatrogenic errors to a minimum.

Podsumowanie

Wyniki przeprowadzonych badań pozwalają wskazać na zbliżoną skuteczność opracowania zakrzywionych kanałów korzeniowych w kształcie litery L w bloczkach z żywicy ocenianymi systemami narzędzi. Podczas pracy żadne z użytych narzędzi nie uległo złamaniu i nie zaobserwowano aberracji w przebiegu kanału. Można zatem stwierdzić, że porównywane systemy są bezpieczne do opracowania nawet zakrzywionych kanałów, a przestrzeganie zaleceń producenta redukuje ryzyko powstawania jatrogennych błędów do minimum.

References

1. *Shaw H, Dembińska M, Rojecka M, Czarnecka B:* Porównanie opracowania wierzchołkowej części kanału korzeniowego dwoma różnymi metodami. *Czas Stomatol* 2009; 62: 809-815.
2. *Schilder H:* Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am* 1974; 18: 269-296.
3. *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.
4. *Hülsmann M, Peters OA, Dummer PMH:* Mechanical preparation of root canals: shaping goals, techniques and means. *Endod Topics* 2005; 10: 30-76.
5. *Alencar AHG de, Dummer PMH, Oliveira HCM, Pécora JD, Estrela C:* Procedural errors during root canal preparation using rotary NiTi instruments detected by periapical radiography and cone beam computed tomography. *Braz Dent J* 2010; 21: 543-549.
6. *Testarelli L, Plotino G, Al-Sudani D, Vincenzi V, Giansiracusa A, Grande NM:* Bending properties of a new nickel-titanium alloy with a lower percent by weight of nickel. *J Endod* 2011; 37: 1293-1295.
7. *Johnson E, Lloyd A, Kuttler S, Namerow K:* Comparison between a novel nickel-titanium alloy and 508 nitinol on the cyclic fatigue life of ProFile 25/.04 rotary instruments. *J Endod* 2008; 34: 1406-1409.
8. *Spagnuolo G, Ametrano G, D'Antò V, Rengo C, Simeone M, Riccitiello F, et al.:* Effect of autoclaving on the surfaces of TiN-coated and conventional nickel-titanium rotary instruments. *Int Endod J* 2012; 45: 1148-1155.
9. *Valois CR, Silva LP, Azevedo RB:* Multiple autoclave cycles affect the surface of rotary nickel-titanium files: an atomic force microscopy study. *J Endod* 2008; 34: 859-862.
10. *Jain N, Tushar S:* Curved canals: ancestral files revisited. *Indian J Den Res* 2008; 19: 267-271.
11. *Koch K, Brave D:* Real World Endo: Design features of rotary files and how they affect clinical performance. *Oral Health* 2002; 2: 39-49.
12. *Powell SE, Simon JH, Maxe BB:* A comparison of the effect of modified and nonmodified instrument tips on apical canal configuration. *J Endod* 1986; 12: 293-300.
13. *Schäfer E, Dzepina A, Danesh G:* Bending properties of rotary nickel-titanium instruments. *Oral Surgery, Oral Medicine, Oral Pathology, Oral Radiology, Endodontics* 2006; 96: 757-763.
14. *Barankiewicz D, Pawlicka H:* Opracowanie kanałów typu S trzema sekwencjami pilników Race-badania laboratoryjne. *Dent Med Probl* 2011; 48: 348-354.
15. *Griffiths IT, Bryant ST, Dummer PMH:* Canal shapes produced sequentially during instrumentation with Quantec LX rotary nickel-titanium instruments: a study in simulated canals. *Int Endod J* 2000; 33: 346-354.

16. 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.
17. Calbertson FL, Deroose CA, Hommez GM, De Moor RJ: Shaping ability of ProTaper nickel-titanium files in simulated resin root canals. Int Endod J 2004; 37: 613-623.
18. Rangel S, Cremonese R, Bryant S, Dummer PHM: Shaping ability of RaCe rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals. J Endod 2005; 31: 460-463.
19. Kum KY, Spänberg L, Cha BY, Jung IY, Lee SJ, Lee CY: Shaping ability of three Profile rotary instrumentation techniques in simulated resin root canals. J Endod 2000; 26: 719-723.
20. Sonntag D, Ott M, Kook K, Stachniss V: Root canal preparation with the NiTi systems K3, Mtwo and ProTaper. Aust Endod J 2007; 33: 73-81.
21. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Beullens M, Wevers M, Van Meerbeek B, Lambrechts P: Progressive versus constant tapered shaft design using NiTi rotary instruments. Int Endod J 2003; 36: 288-295.
22. Yang GB, Zhou XD, Zhang H, Wu HK: Shaping ability of progressive versus constant taper instruments in simulated root canals. Int Endod J 2006; 39: 791-799.
23. Piekarczyk T, Michalak E, Mosler B: Zmiana długości roboczej w trakcie mechanicznego opracowywania zakrzywionych kanałów korzeniowych instrumentami rotacyjnymi. Mag Stomatol 2013; 9: 199-205.
24. Davis RD, Marshall JG, Baumgartner JC: Effect of early coronal flaring on working length change in curved canals using rotary nickel-titanium versus stainless steel instruments. J Endod 2002; 28: 438-442.
25. Korceżyńska P, Gaj E, Dura W, Lipski M: Ocena deformacji naturalnego przebiegu kanału korzeniowego w następstwie preparacji z użyciem ręcznych narzędzi stalowych i systemu rotacyjnych narzędzi niklowo-tytanowych S5. Mag Stomatol 2013; 9: 182-186.
26. Yoo YS, Cho YB: A comparison of the shaping ability of reciprocating NiTi instruments in simulated curved canals. Restorative Dent Endodont 2012; 37: 220-227.
27. Guelzow A, Stamm O, Martus P, Kielbassa AM: Comparative study of six rotary nickel-titanium systems and hand instrumentation for root canal preparation. Int Endod J 2006; 38: 743-762.
28. Łęski M, Radwański M, Pawlicka H: Porównanie stopnia opracowania sztucznych kanałów w kształcie litery L dwoma systemami maszynowymi. Dent Med Probl 2014; 51: 336-344.
29. Radwański M, Łęski M, Pawlicka H: Porównanie stopnia opracowania sztucznych kanałów w kształcie litery L dwoma systemami maszynowymi: eS5 Endostar i ProTaper. e-Dentico 2014; 49: 98-107.
30. Saber SE, Nagy MM, Schäfer E: Comparative evaluation of the shaping ability of ProTaper Next, iRaCe and Hyflex CM rotary NiTi files in severely curved root canals. Int Endod J 2014; in press.
31. Kumar BS, Pattanshetty S, Prasad M, Soni S, Pattanshetty KS, Prasad S: An in-vitro evaluation of canal transportation and centering ability of two rotary nickel-titanium systems (Twisted Files and Hyflex files) with conventional stainless steel hand K-flexfiles by using spiral computed tomography. J Int Oral Health 2013; 5: 108-115.
32. Zhao D, Shen Y, Peng B, Haapasalo M: Micro-computed tomography evaluation of the preparation of mesiobuccal root canals in maxillary first molars with Hyflex CM, Twisted Files, and K3 instruments. J Endod 2013; 39: 385-388.

Address: 92-216 Łódź, ul. Pomorska 251

Tel.: +4842 6757418, Fax: +4842 6757418

e-mail: endo@csk.umed.lodz.pl

Received: 18th December 2014

Accepted: 4th August 2015