

## Preparation of artificial L-shaped canals with nickel-titanium rotary files\*

### Opracowanie sztucznych kanałów w kształcie litery L niklowo-tytanowymi narzędziami 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: dr n. med. A. Palatyńska-Ulatowska

#### Abstract

**Introduction.** The aim of endodontic treatment is to remove the pulp and to shape the root canal with respect to the original anatomy. In order to shorten the working time and to reduce the risk of procedural errors, nickel-titanium rotary files are used in canal preparation. The rotary instruments vary in taper, cross-sections of working parts, manufacturing process, as well as direction and extent of rotation during shaping. **Aim of the study.** To compare the shaping ability of three rotary instruments in simulated L-curved canals. **Material and methods.** Thirty resin blocks with simulated L-curved canals were used in this experimental study. The blocks were divided into three groups (ten blocks in each). The canals were prepared to an apical size 25 according to the manufacturer's recommendations. Pre-operative and post-operative photographs were taken and images were superimposed by using the GIMP 2.6 program. The amount of material removed from canal walls, apical transportation and changes in the working length were measured. **Results.** The most central preparation was provided by WaveOne Gold as compared to the other systems. The smallest change in the working length was noted after Hyflex CM instrumentation. The statistically significant differences were detected between ProTaper Universal and Hyflex CM, and between ProTaper Universal and WaveOne Gold files

#### Streszczenie

**Wprowadzenie.** Celem leczenia endodontycznego jest usunięcie miazgi oraz opracowanie i ukształtowanie kanału korzeniowego z zachowaniem oryginalnej anatomii. W celu skrócenia czasu pracy oraz zmniejszenia ryzyka popełnienia błędów do opracowania kanałów stosuje się maszynowe narzędzia niklowo-tytanowe. Narzędzia te różnią się między sobą stożkowatością, przekrojem poprzecznym części pracującej, technologią wytwarzania oraz kierunkiem i zakresem rotacji podczas pracy. **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 25 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. **Wyniki.** Najbardziej centralną preparację ze wszystkich porównywanych systemów zapewniły narzędzia WaveOne Gold. Najmniejszą zmianę długości roboczej

#### KEYWORDS:

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

#### HASŁA INDEKSOWE:

niklowo-tytanowe narzędzia maszynowe, opracowanie kanału, bloczki żywiczne

\* The study was financed by the statutory funds: 503/2-044-02/503-01

\* Praca finansowana z funduszu statutowego: 503/2-044-02/503-01.

as regards the change in the working length and apical transportation ( $p < 0.05$ ). **Conclusion.** WaveOne Gold Files preserved the original anatomy of L-shaped canals in the best way.

The aim of endodontic treatment is to remove the pulp from the canal space and to shape the root canal with respect to the original anatomy.<sup>1</sup> In order to shorten the working time and reduce the risk of procedural errors, nickel-titanium rotary files are used in preparation procedures.<sup>2,3</sup> Over the years, subsequent rotary systems have been introduced with files varying in taper, cross-section of the working part, shape of the tip and cutting edges, composition of the nickel-titanium alloy and technological process of their production.<sup>4-6</sup> There is a noticeable tendency to reduce the number of instruments which are used in canal preparation. The rotary files also differ in the direction and extent of rotation. Most of the currently available machine files work in continuous rotary motion. It means that files during their work rotate in one direction. The effect of continuous motion is the production of torsional stresses and greater susceptibility to fracture.<sup>7,8</sup> In order to reduce the stresses, reciprocating files have been introduced, which use a different preparation technique. The reciprocating movement has been based on the balanced force technique and differs from traditional oscillations in that the file during canal shaping firstly performs the movement in the direction of cutting, which is then interrupted by the movement in the opposite direction. It minimizes the risk of binding/fracture of the files and reduces the number of rotations during shaping as compared with the continuous rotary movement.<sup>9,10</sup>

### Aim of the study

The aim of the study was to compare the shaping ability of the selected rotary instruments in simulated L-shaped canals.

odnotowano po instrumentacji narzędziami Hyflex CM. Wykazano istotną statystycznie różnicę pomiędzy ProTaper Universal a Hyflex CM oraz ProTaper Universal a WaveOne Gold w zakresie zmiany długości roboczej oraz transportacji wierzchołka ( $p < 0.05$ ). **Podsumowanie.** Narzędzia WaveOne Gold zachowały w najlepszym stopniu oryginalną anatomie kanałów korzeniowych w kształcie litery L.

Celem leczenia endodontycznego jest usunięcie miazgi oraz opracowanie i ukształtowanie kanału korzeniowego z zachowaniem oryginalnej anatomii.<sup>1</sup> W celu skrócenia czasu pracy oraz zmniejszenia ryzyka popełnienia błędów do opracowania kanałów stosuje się maszynowe narzędzia niklo-tytanowe.<sup>2,3</sup> Z biegiem lat do użytku wprowadzane są kolejne systemy maszynowe różniące się między sobą stożkowatością, przekrojem poprzecznym części pracującej, ukształtowaniem wierzchołka i krawędzi tnących, składem stopu niklo-tytanowego, a także technologią produkcji.<sup>4-6</sup> Obserwuje się tendencję do zmniejszania liczby narzędzi niezbędnych do opracowania kanałów korzeniowych. Narzędzia maszynowe różnią się także między sobą kierunkiem i zakresem rotacji. Większość dostępnych maszynowych narzędzi pracuje w technice pełnoobrotowej (continuous rotary motion). Oznacza to, że narzędzia podczas pracy obracają się w jednym kierunku. Efektem ruchu pełnoobrotowego jest wytwarzanie dużych naprężeń i większa podatność na złamanie.<sup>7,8</sup> W celu zmniejszenia naprężeń wprowadzono do użycia narzędzia recyprokalne, które wykorzystują odmienną technikę preparacji. Ruch recyprokalny został oparty na technice zrównoważonej siły i różni się od tradycyjnej oscylacji tym, że narzędzie podczas pracy w kanale wykonuje najpierw ruch w kierunku cięcia, który następnie jest przerywany przez ruch w kierunku przeciwnym. Zmniejsza to ryzyko zablokowania/złamania narzędzia oraz liczbę obrotów pilnika w kanale w porównaniu z techniką pełnoobrotową.<sup>9,10</sup>

### Cel pracy

Celem pracy jest porównanie stopnia opracowania sztucznych kanałów korzeniowych w kształcie

## Material and methods

In the study, ProTaper Universal, Hyflex CM and WaveOne Gold rotary files were used.

The basic set of ProTaper Universal (Dentsply Maillefer) consists of six nickel-titanium rotary instruments. The Sx file is intended to widen the coronal part of the canal, similarly to instruments S1 and S2, which are used to shape two-thirds of the coronal portion of the root canal. In addition to shaper files, the set also contains finisher files (F1, F2, F3) used for the preparation of apical one-third of the root canal. For wide canal preparation, the set was completed with F4 and F5 files. The files are characterized by variable taper on a single file and by a rounded safe tip (pilot tip). The cross-section of the working part is triangle in the case of Sx-F2 files and in the case of F3-F5 it is modified by the presence of grooves between the cutting edges.

Hyflex Controlled Memory (Hyflex CM, Coltene-Whaledent) Files are made of the nickel-titanium alloy in the patent-pending technology, and are characterized by a lower percent in weight of nickel (52%). Another important feature of the files is also a lack of shape memory effect, allowing the instrument to adapt better to the anatomy of the prepared canal. The file reacts to excessive resistance by straightening the spirals, which prevents their blocking in the canal lumen. After the heat treatment process (e.g. sterilization in an autoclave), the file recovers the original shape and can be re-used for root canal preparation. Unwinding of the spiral and a failure to return to its original shape after the heat treatment signifies that files cannot be used again. The Hyflex CM basic set consists of six files. The instruments are manufactured in two lengths of 21 and 25 mm, with the exception of the orifice opener file (.08/25), which is available only in the length of 19 mm.

WaveOne Gold Files (Dentsply Maillefer) used in reciprocating movement, are available in four different sizes: .07/20 (Small), .07/25 (Primary), .06/35 (Medium), .05/45 (Large), and in three different lengths: 21, 25 and 31 mm. The cross-section of files is a parallelogram and the contact between the file and the canal wall may

literary L przy użyciu wybranych narzędzi maszynowych.

## Material i metody

Do przeprowadzenia badań wykorzystano narzędzia maszynowe ProTaper Universal, Hyflex CM oraz WaveOne Gold.

Zestaw podstawowy systemu ProTaper Universal (Dentsply Maillefer) składa się z 6 niklowo-tytanowych narzędzi maszynowych. Narzędzie Sx przeznaczone jest do poszerzania koronowej części kanału, podobnie jak narzędzia S1 oraz S2 służące do opracowanie 2/3 przykronowych części kanału. Oprócz narzędzi kształtujących (shaper) w zestawie znajdują się narzędzia finisher (F1,F2,F3) do opracowywania 1/3 przywierzchołkowej części kanału. Do opracowywania szerokich kanałów zestaw został uzupełniony o pilniki F4 oraz F5. Narzędzia charakteryzuje zmienna stożkowatość w obrębie jednego narzędzia oraz zaokrąglony, bezpieczny, pilotujący wierzchołek. Przekrój poprzeczny części pracującej narzędzia jest trójkątny w przypadku narzędzi Sx-F2, natomiast w przypadku narzędzi F3-F5 jest zmodyfikowany poprzez obecność wyźłobień pomiędzy krawędziami tnącymi.

Narzędzia Hyflex Controlled Memory (Hyflex CM, Coltene-Whaledent) wykonane są ze stopu niklowo-tytanowego w technologii „patent pending” oraz charakteryzują się mniejszą zawartością wagową niklu (52%). Ważną cechą narzędzi jest również brak efektu pamięci kształtu (shape memory effect), dzięki czemu narzędzia w lepszym stopniu dopasowują się do anatomii opracowywanego kanału. Na nadmierny opór narzędzia reagują wyprostowaniem spiral, co uniemożliwia ich blokowanie w świetle kanału. Dzięki obróbce termicznej (np. sterylizacją w autoklawie), narzędzie odzyskuje pierwotny kształt i może być ponownie wykorzystane do opracowania kanału. Rozwinięcie spirali i brak powrotu do pierwotnego kształtu po obróbce termicznej świadczy o braku możliwości ich powtórnego użycia. Zestaw podstawowy Hyflex CM składa się z 6 narzędzi. Instrumenty produkowane są w dwóch długościach 21 i 25 mm, za wyjątkiem narzędzia.08/25

be one- or two-pointed depending on the location of the working part of the file. These features reduce the risk of the file being bound during work. Files are made of the nickel-titanium alloy subject to the heat treatment process, which determines their greater flexibility and resistance to cyclic fatigue.

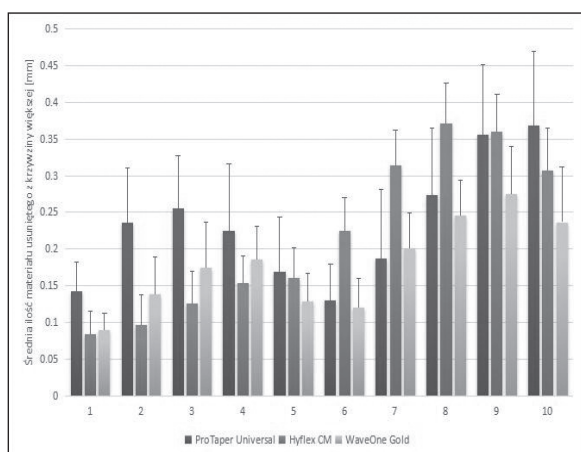
In the laboratory study, thirty blocks with L-shaped canals (Endo-Training Blocks 02 taper, REFA 0177, Dentsply Maillefer, CH-1338 Ballaigues, Switzerland) were used. The canal parameters were: the working length of 17 mm, apical size of 15 and 2% taper. The blocks were randomly divided into three groups, of ten blocks each. Before rotary preparation with the use of file 15 (15/02), the working length and apical patency were confirmed. Before preparation the canals were filled with black ink. Glide path and pre-flaring were performed with the Path File (Dentsply Maillefer), then the canals were prepared using nickel-titanium instruments: ProTaper Universal (group 1), Hyflex CM (group 2) and WaveOne Gold (group 3). The canals were prepared with TECNKA Endo Motor (Dentsply Maillefer) in group 1 and 2, and with WaveOne Endo Motor (Dentsply Maillefer) in group 3, with a recommended speed and torque. In each group, the sequence of files recommended by the manufacturer was respected. Each file was used only once. Between each file, the canals were properly rinsed with 0.9% sodium chloride. Glycerin was used as a lubricant and the apical patency was controlled by C-pilot No. 10. Before and after the preparation, the canals were photographed in a constant position. The obtained images (before and after shaping) were superimposed with the computer software GIMP 2.6. The amount of the material removed from canal walls, the change in the working length, and apical transportation were evaluated. The results were statistically analysed in Statistica 12.5 PL. The Kruskal-Wallis ANOVA non-parametric test was used to compare mean values between three groups, and in the case of comparison in pairs, the U Mann-Whitney test was applied. The level of statistical significance was set up at  $p < 0.05$ .

(orifice opener), które dostępne jest jedynie w długości 19 mm.

Narzędzia WaveOne Gold (Dentsply Maillefer) pracujące techniką recyprokalną, występują w 4 rozmiarach: .07/20 (Small), .07/25 (Primary), .06/35 (Medium), .05/45 (Large). WaveOne Gold dostępne są w trzech długościach: 21, 25 oraz 31 mm. Przekrój narzędzi ma kształt równoległoboku i w zależności od lokalizacji części pracującej kontakt narzędzia ze ścianą kanału może być jedno- lub dwupunktowy. Zmniejsza się dzięki temu możliwość zablokowania narzędzia podczas pracy. Narzędzia wykonane są ze stopu niklowo-tytanowego poddanemu procesowi obróbki termicznej, który warunkuje ich większą giętkość oraz odporność na cykliczne zmęczenie.

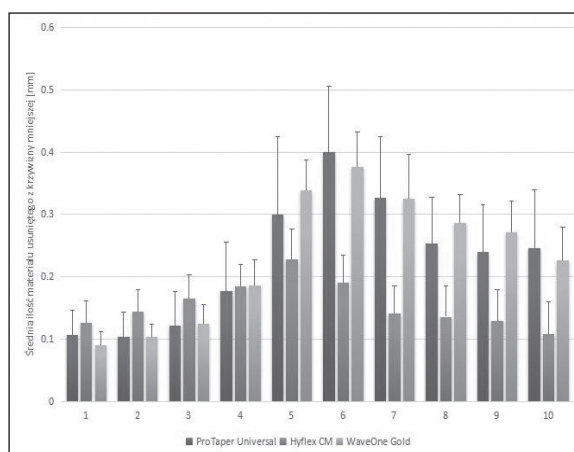
W badaniach laboratoryjnych wykorzystano trzydzieści bloczków z wykonanymi wewnątrz kanałami w kształcie litery L (Endo-Training Blocks 02 taper, REFA 0177, Dentsply Maillefer, CH-1338 Ballaigues, Switzerland). Kanały charakteryzowały następujące parametry: całkowita długość kanału 17 mm, rozmiar przy wierzchołku 15 oraz stożkowatość 2%. Bloczki zostały losowo podzielone na trzy grupy, po 10 w każdej. Przed rozpoczęciem pracy narzędziami maszynowymi, potwierdzono przy użyciu pilnika 15 (15/02), długość roboczą kanału i drożność wierzchołkową. Przed opracowaniem kanały wypełniono czarnym tuszem. Do wykonania glide path i pre-flaring wykorzystano narzędzia Path File (Dentsply Maillefer), a następnie kanały opracowano niklowo-tytanowymi narzędziami maszynowymi: ProTaper Universal (grupa 1), Hyflex CM (grupa 2) oraz WaveOne Gold (grupa 3). Kanały zostały opracowane przy użyciu mikrosilnika TECNKA (Dentsply Maillefer) w przypadku grup 1 i 2 oraz z użyciem mikrosilnika WaveOne Endo Motor (Dentsply Maillefer) w grupie 3 z zalecaną prędkością i momentem obrotowym. W każdej grupie przestrzegano sekwencji narzędzi zalecanej przez producenta. Każde narzędzie było wykorzystane jednokrotnie. Pomiędzy kolejnymi narzędziami kanały obficie płukano 0,9% solą fizjologiczną. Jako lubrykant zastosowano glicerynę, a drożność wierzchołkową (apical patency) kontrolowano narzędziem C-pilot nr 10. Przed i po opraco-





**Fig. 1.** The mean value of the material removed from outer curvature of the canal [mm] at 10 measurement points. Data presented as mean with standard deviation.

*Średnia ilość materiału usuniętego z krzywizny większej kanału [mm] w 10 punktach pomiarowych. Dane przedstawione w formie średniej z odchyleniem standardowym.*



**Fig. 2.** The mean value of the material removed from the inner curvature of the canal [mm] at 10 measurement points. Data presented as mean with standard deviation.

*Średnia ilość materiału usuniętego z krzywizny mniejszej kanału [mm] w 10 punktach pomiarowych. Dane przedstawione w formie średniej z odchyleniem standardowym.*

## Results

### The amount of the material removed from canal walls

The mean value of the material removed from outer and inner canal walls is presented in Figures 1 and 2.

In the case of the outer curvature of the canal, the comparison of all three means together showed statistically significant differences in each measurement point ( $p < 0.001$ ). The comparison between ProTaper Universal and Hyflex CM instruments revealed statistically significant differences at 2, 6, 7, 8, 9 and 10 measurement points. The comparison between ProTaper Universal and WaveOne Gold instruments showed the statistically significant differences at all measurement points with the level of statistical significance at  $p < 0.001$ . Finally, the comparison of mean values between Hyflex CM and WaveOne Gold files showed the statistically significant differences ( $p < 0.001$ ) in almost every measurement point, with the exception of the first one.

The comparison of all three mean values of the material removed from the inner curvature of the canal, also indicated statistically significant differences at all measurement points ( $p < 0.001$ ). In

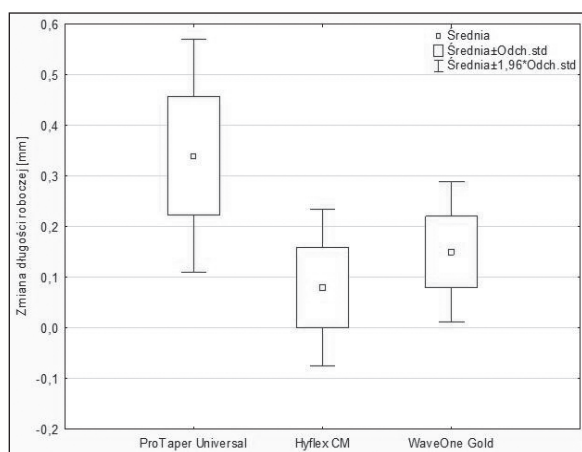
waniu kanały były fotografowane w stałej pozycji. Uzyskane obrazy (przed i po opracowaniu), nakładano na siebie przy użyciu programu komputerowego GIMP 2.6. Ocenie poddano ilość materiału usuniętego ze ścian kanału, zmianę długości roboczej oraz transportację wierzchołka. Wyniki poddano analizie statystycznej z wykorzystaniem programu Statistica 12.5 PL. Do porównania średnich w trzech grupach zastosowano test nieparametryczny ANOVA Kruskala-Wallisa, a w przypadku porównania grup parami test U Manna-Whitneya. Poziom istotności wyniósł  $p < 0,05$ .

## Wyniki

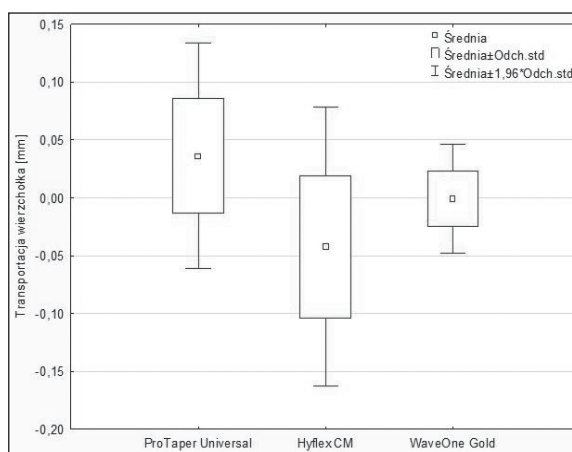
### Ilość materiału usuniętego ze ścian kanału

Średnią ilość materiału usuniętego z krzywizny większej i mniejszej przedstawiono na rycinach 1 i 2.

W przypadku krzywizny większej kanału porównanie wszystkich trzech średnich łącznie wykazało istotne statystycznie różnice w każdym punkcie pomiaru ( $p < 0,001$ ). W przypadku porównania ProTaper Universal z Hyflex CM różnice okazały się istotne statystycznie w 2, 6, 7, 8, 9 oraz 10 punkcie pomiaru. Porównanie ProTaper Universal z WaveOne Gold wykazało istotne sta-



**Fig. 3.** The mean value of the change in working length [mm].  
Średnia zmiana długości roboczej [mm].



**Fig. 4.** The mean value of apical transportation [mm].  
Średnia wartość transportacji wierzchołka [mm].

the case of the comparison of ProTaper Universal and Hyflex CM means, the differences were statistically significant at 2, 6, 7, 8, 9 and 10 measurement points. The comparison between ProTaper Universal and WaveOne Gold and between Hyflex CM and WaveOne Gold instruments revealed the statistically significant difference at each measurement point (level at  $p < 0.001$ ,  $p = 0.0002$ )

### Change in the working length

The change in the working length in the compared groups is illustrated in Figure 3. The highest mean change in the working length was noticed after preparation of canals with ProTaper Universal files, and the smallest after Hyflex CM instrumentation. Comparing rotary systems in pairs, the statistically significant differences were observed between ProTaper Universal and Hyflex CM ( $p = 0.0006$ ), and between ProTaper Universal and WaveOne Gold ( $p = 0.0017$ ) files. There was no statistically significant difference between Hyflex CM and WaveOne Gold.

### Apical transportation

The mean apical transportation is presented in Figure 4. In the case of WaveOne Gold instruments, the mean values were the smallest and similar to 0 value. The greatest apical transportation was noted in the case of ProTaper Universal

tystycznie różnice we wszystkich punktach pomiaru z błędem dla każdego punktu  $p < 0,001$ . Z kolei porównanie średnich dla narzędzia Hyflex CM z Wave One Gold wykazało istotne statystycznie ( $p < 0,001$ ) różnice pomiędzy średnimi w niemalże każdym punkcie pomiaru, z wyjątkiem pierwszego.

Porównanie wszystkich trzech średnich ilości usuniętego materiału z krzywizny mniejszej kanału, wykazało również istotne statystycznie różnice w każdym punkcie pomiaru ( $p < 0,001$ ). Porównanie średnich dla ProTaper Universal z Hyflex CM wykazało istotnie statystycznie różnice w 2, 6, 7, 8, 9 oraz 10 punkcie pomiaru. W przypadku ProTaper Universal i WaveOne Gold oraz Hyflex CM i WaveOne Gold różnice okazały się istotne statystycznie w każdym punkcie pomiaru (wszystkie na poziomie błędzie  $p < 0,001$ , a dokładnie  $p = 0,0002$ ).

### Zmiana długości roboczej

Zmianę długości roboczej w poszczególnych grupach przedstawia rycina 3. Największą zmianę długości roboczej odnotowano po opracowaniu kanałów narzędziami ProTaper Universal, natomiast najmniejszą po preparacji narzędziami Hyflex CM. Porównując systemy maszynowych narzędzi nikolowo-tytanowych parami, różnice okazały się istotne statystycznie pomiędzy

files. After the comparison in pairs, the differences were statistically significant between ProTaper Universal and Hyflex CM ( $p=0.0017$ ) and between ProTaper Universal and WaveOne Gold ( $p=0.014$ ) systems.

## Discussion

Maintaining of original root canal anatomy after shaping procedure is one of the most important objectives of endodontic treatment.<sup>11</sup> To compare the shaping abilities of rotary instruments, the model of resin blocks with L-shaped canals was used. It guarantees the same working conditions and allows direct comparison of the canals before and after shaping. The obtained results did not reflect the clinical situation because of the differences between properties of artificial material and dentine.<sup>12,13</sup> In the present study, all canals were prepared to the same apical size of 25.<sup>14</sup>

WaveOne Gold Primary Files maintained the original L-shaped canal anatomy in the best way, with the smallest deviation of compared parameters. The smallest change in the working length was noted after the Hyflex CM instrumentation. The efficiency of ProTaper Universal files, despite the adequate preparation of the coronal part of the canal, may be considered as unsatisfactory. Larger deviations and changes in the compared parameters in the case of ProTaper Universal may be explained by a greater number and taper of these files as compared to other systems, which were used in the study.

Taking into consideration the design of nickel-titanium rotary instruments, it is worth paying attention to the cross-section of the working part. Files whose cross-section is asymmetrical, are much better at maintaining the original course of the canal. It is due to the absence of contact between the cutting edges of the file and canal walls during shaping, thereby the space for the removed material/dentine increases, reducing a risk of the file binding in the canal. The study conducted by Łeski et al.<sup>15</sup> in which the ProTaper Universal was compared with the ProTaper Next system showed that files with the asymmetrical cross-section (ProTaper Next) were better at preparing L-shaped canals. In the study, there were statistically signifi-

ProTaper Universal a Hyflex CM ( $p=0.0006$ ) oraz pomiędzy ProTaper Universal a WaveOne Gold ( $p=0,0017$ ). Nie wykazano różnicy statystycznej pomiędzy Hyflex CM a WaveOne Gold.

## Transportacja wierzchołka

Średnią transportację przedstawia rycina 4. W przypadku narzędzi WaveOne Gold średnie wyniki okazały się najmniejsze i najbardziej zbliżone do wartości 0. Transportacja wierzchołka okazała się największa w przypadku narzędzi ProTaper Universal. Po porównaniu grupami, różnice okazały się istotne statystycznie pomiędzy ProTaper Universal a Hyflex CM ( $p=0,0017$ ) oraz pomiędzy ProTaper Universal a WaveOne Gold ( $p=0,014$ ).

## Dyskusja

Zachowanie oryginalnej anatomii kanału korzeniowego po opracowaniu kanałów jest jednym z najważniejszych celów leczenia endodontycznego.<sup>11</sup> W przypadku porównania opracowania kanałów narzędziami maszynowymi wykorzystano model bloczków z wykonanymi wewnątrz kanałami w kształcie litery L. Zapewnia on jednakowe warunki pracy oraz umożliwia bezpośrednie porównywanie kanałów przed i po opracowaniu. Uzyskanych wyników nie należy odnosić do sytuacji klinicznej z uwagi na podstawowe różnice właściwości tworzywa sztucznego i zębiny.<sup>12,13</sup> W przypadku przeprowadzonych badań kanały opracowano do identycznego rozmiaru przy wierzchołku, który wynosił 25.<sup>14</sup>

Narzędzia WaveOne Gold Primary w najlepszym sposobie utrzymały oryginalną anatomie sztucznego kanału w kształcie litery L, z najmniejszym odchyleniem porównywanych parametrów. Najmniejszą zmianę długości roboczej odnotowano po instrumentacji narzędziami Hyflex CM. Skuteczność w opracowaniu narzędziami ProTaper Universal, mimo właściwego opracowania części przykronowej kanału, można uznać za niesatysfakcjonującą. Większe odchylenia i zmiany porównywanych parametrów w przypadku ProTaper Universal można najprawdopodobniej wytłumaczyć większą liczbą i większą stożkowatością narzędzi zastosowanych podczas opracowania kanałów w porównaniu z pozostałymi użytymi systemami.

ficant differences in the change in the working length and apical transportation.<sup>15</sup> In the present study, WaveOne Gold instruments, which are characterized by the asymmetrical cross-section of the working part, preserved the original canal anatomy of L-shaped canals best.

The material of which files are made also affects the shaping procedure of canals. In most cases, rotary instruments are manufactured from the nickel-titanium alloy, which over the years has been constantly modified. The producers, through the introduction of modern technologies in the process of production, influence the changes in parameters of the traditional nickel-titanium alloy. The introduced changes are primarily aimed at increasing the flexibility of nickel-titanium files with greater resistance to cyclic fatigue.<sup>16,17</sup> The files used in the present study, in which nickel-titanium alloy has been modified (WaveOne Gold and Hyflex CM), prepared L-shaped canals better. In these cases, a smaller loss of the working length and a smaller apical transportation were observed.

The procedure of shaping root canals can be affected by a preparation technique (continuous/reciprocating). In Navós et al.<sup>18</sup> study, where ProTaper Universal and Mtwo files (continuous rotary motion) were compared with Reciproc files (reciprocating movement), the authors did not observe the statistically significant differences in apical transportation ( $p > 0.05$ ) between the compared groups. The differences were only noted ( $p < 0.05$ ) in apical thirds of the canal while comparing the centering ability between ProTaper Universal and Reciproc files. In addition, Stern et al.<sup>19</sup> in their study, in which ProTaper files were used in a continuous and reciprocating motion, did not reveal the statistically significant differences between preparation techniques. Nazari Moghadam et al.,<sup>20</sup> who compared Twisted Files (continuous rotary motion) with Reciproc (reciprocating motion), did not reveal differences between preparation techniques. The results obtained in the present study were inconclusive. The statistically significant differences were detected between ProTaper Universal and WaveOne Gold systems, but the authors did not observe any differences between Hyflex CM and WaveOne Gold instruments.

Analizując cechy budowy narzędzi niklowo-tytanowych warto zwrócić uwagę na przekrój poprzeczny części pracującej. Narzędzia, które na przekroju poprzecznym charakteryzują się asymetrycznym przekrojem części pracującej w lepszym stopniu zachowują oryginalny przebieg kanałów korzeniowych. Dzieje się tak dzięki brakowi kontaktu wszystkich krawędzi tnących narzędzia ze ścianą opracowywanego kanału, przez co zwiększa się przestrzeń dla usuwanego materiału/zębiny, redukując tym samym ryzyko zablokowania narzędzia w kanale. Badania Łęski i wsp.<sup>15</sup> porównujące narzędzia ProTaper Universal z narzędziami ProTaper Next wykazały, że narzędzia o asymetrycznym przekroju (ProTaper Next) w lepszym stopniu opracowywały kanały w kształcie litery L. W badaniu wykazano istotną statystycznie zmianę długości roboczej oraz transportację wierzchołka.<sup>15</sup> W przeprowadzonym badaniu narzędzia WaveOne Gold charakteryzujące się również asymetrycznym przekrojem części pracującej w najlepszym stopniu zachowały oryginalną anatomie kanałów w kształcie litery L.

Na stopień opracowania kanałów korzeniowych ma również wpływ materiał, z którego wykonane są narzędzia. W większości przypadków narzędzia maszynowe produkowane są ze stopu niklowo-tytanowego, który na przestrzeni lat był poddawany licznym modyfikacjom. Producenci, poprzez wprowadzanie nowoczesnych technologii w procesie wytwarzania wpływają na zmianę parametrów tradycyjnego stopu niklowo-tytanowego. Wprowadzane zmiany mają na celu przede wszystkim zwiększenie giętkości narzędzi niklowo-tytanowych, z równoczesnym wzrostem ich odporności na cykliczne zmęczenie (cyclic fatigue).<sup>16,17</sup> Narzędzia użyte w badaniu, których stop niklowo-tytanowy został poddany modyfikacjom (WaveOne Gold oraz Hyflex CM) w lepszym stopniu opracowały kanały w kształcie litery L. W tych przypadkach stwierdzono mniejszą utratę długości roboczej oraz transportację wierzchołka.

Na stopień opracowania kanałów korzeniowych może mieć wpływ technika preparacji (pełnoobrotowa/recyprokalna). W badaniach Navós i wsp.<sup>18</sup> porównujących narzędzia ProTaper, Mtwo (technika pełnoobrotowa) z narzędziami Reciproc



Thereby, it can be stated that not the preparation technique but the design of the files and modification of the nickel-titanium alloy may affect the obtained results during canal preparation (the differences were statistically significant between the ProTaper Universal and Hyflex CM, and between ProTaper Universal and WaveOne Gold systems).

## Conclusions

To sum up, the obtained results allowed us to draw the following conclusions:

1. WaveOne Gold Files maintained the original anatomy of L-shaped canals in the best way.
2. The design of nickel-titanium rotary files influenced the preparation of L-shaped canals, Better results of shaping ability were noted for files with an asymmetrical cross-section of the working part (WaveOne Gold) or for files which straighten when the resistance is present during preparation (Hyflex CM) as compared to files with a symmetrical cross-section (ProTaper Universal).
3. The files used in the present study, with modified nickel-titanium alloy (WaveOne Gold and Hyflex CM), better developed L-shaped canals, presenting a smaller loss of the working length and a smaller apical transportation.
4. There is a noticeable tendency to reduce the number of instruments which are used in root canal preparation (reduction in the number of files, introduction of the single-file systems).
5. The influence of preparation technique on shaping canals needs further studies because of inconclusive results. The statistical differences were observed between WaveOne Gold (reciprocating movement) and ProTaper Universal (continuous movement) files, but the authors did not notice statistically significant differences between WaveOne Gold (reciprocating technique) and Hyflex CM (continuous rotary) systems.

(technika recyprokalna) autorzy nie wykazali statystycznie istotnych różnic pod względem transportacji wierzchołka ( $p > 0,05$ ). Stwierdzono jedynie statystyczne różnice ( $p < 0,05$ ) w 1/3 przywierzchołkowej części kanału w przypadku zdolności pozostania instrumentu centralnie w kanale podczas pracy (centering ability) pomiędzy ProTaper a Reciproc. Również badanie Stern i wsp.,<sup>19</sup> w którym wykorzystano narzędzia ProTaper używane zarówno w technice pełnoobrotowej, jak i recyprokalnej nie wykazało różnic pomiędzy techniką preparacji. Badania Nazari Moghadam i wsp.,<sup>20</sup> porównujące narzędzia Twisted Files (technika pełnoobrotowa) z systemem Reciproc (technika recyprokalna) nie wykazały różnic pomiędzy techniką preparacji. Wyniki uzyskane w przeprowadzonym badaniu są niejednoznaczne. Wykazano bowiem istotną statystycznie różnicę pomiędzy narzędziami ProTaper Universal a WaveOne Gold, natomiast nie obserwowano różnic w przypadku narzędzi Hyflex CM i WaveOne Gold. Można więc przypuszczać, że to nie technika preparacji, a cechy budowy narzędzi i modyfikacje, jakim poddawany jest stop niklowo-tytanowy mają wpływ na uzyskiwane wyniki podczas kształtowania kanałów (różnice istotne statystycznie wykazano pomiędzy ProTaper Universal a Hyflex CM oraz ProTaper Universal a WaveOne Gold).

## Podsumowanie

Podsumowując, uzyskane wyniki pozwalają na wyciągnięcie następujących wniosków:

1. Narzędzia WaveOne Gold zachowały w najlepszym stopniu oryginalną anatomie kanałów korzeniowych w kształcie litery L.
2. Można przypuszczać, że na stopień opracowania kanałów w kształcie litery L mają wpływ cechy budowy narzędzi niklowo-tytanowych. Lepsze wyniki opracowania kanałów uzyskano w przypadku narzędzi o przekroju asymetrycznym części pracującej (WaveOne Gold), czy ulegających rozkręceniu w przypadku napotkania oporu podczas pracy (Hyflex CM) niż w przypadku narzędzi o symetrycznym przekroju (ProTaper Universal).
3. Użyte w badaniach narzędzia, w których stop

- niklowo-tytanowy poddano modyfikacjom (WaveOneGold i Hyflex CM) w lepszym stopniu opracowują okolicę wierzchołkową sztucznych kanałów w kształcie litery L, obserwuje się mniejszą utratę długości roboczej i transportację wierzchołka.
4. Obserwuje się tendencję do zmniejszenia liczby narzędzi wykorzystywanych do opracowania kanałów korzeniowych (redukcja liczby pilników, wprowadzanie systemów jednopilnikowych).
  5. Wpływ techniki preparacji na kształtowanie kanałów wymaga dalszych badań ze względu na niejednoznaczność uzyskanych wyników. Stwierdzono istotne różnice statystyczne pomiędzy WaveOne Gold (technika recyprokalna) a ProTaper Universal (technika pełnoobrotowa). Natomiast różnic statystycznych nie wykazano pomiędzy WaveOne Gold (technika recyprokalna) a Hyflex CM (technika pełnoobrotowa).

## References

1. Hubscher W, Barbakow F, Peters OA: Root canal preparation with FlexMaster: assessment of torque and force in relation to canal anatomy. *Int Endod J* 2003; 36: 883-890.
2. Talati A, Moradi S, Forghani M, Monajemzadeh A: Shaping ability of nickel-titanium rotary instruments in curved root canals. *Iran Endod J* 2013; 8: 55-58.
3. Madani ZS, Haddadi A, Haghanifar S, Bijani A: Cone-beam computed tomography for evaluation of apical transportation in root canals prepared by two rotary systems. *Iran Endod J* 2014; 9: 109-112.
4. Shen Y, Zhou HM, Zheng YF, Peng B, Haapasalo M: Current challenges and concepts of the thermomechanical treatment of nickel-titanium instruments. *J Endod* 2013; 39: 163-172.
5. Yahata Y, Yoneyama T, Hayashi Y, Ebihara A, Doi H, Hanawa T, et al.: Effect of heat treatment on transformation temperatures and bending properties of nickel-titanium endodontic instruments. *Int Endod J* 2009; 42: 621-626.
6. Shen Y, Zhou HM, Zheng YF, Campbell L, Peng B, Haapasalo M: Metallurgical characterization of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments. *J Endod* 2011; 37: 1566-1571.
7. Sattapan B, Palamara JE, Messer HH: Torque during canal instrumentation using rotary nickel-titanium files. *J Endod* 2000; 26: 156-160.
8. Kramkowski TR, Bahcall J: An in vitro comparison of torsional stress and cyclic fatigue resistance of ProFile GT and ProFile GT Series X rotary nickel-titanium files. *J Endod* 2009; 35: 404-407.
9. Yared G: Canal preparation using only one Ni-Ti rotary instrument: preliminary observations. *Int Endod J* 2008; 41: 339-344.
10. Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G: Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. *Int Endod J* 2012; 45: 614-618.
11. Bane K, Faye B, Sarr M, Niang SO, Ndiaye D, Machtou P: Root Canal Shaping by Single-File Systems and Rotary Instruments: a Laboratory Study. *Iranian Endod J* 2015; 10: 135-139.
12. Abu Haimed AS, Abuhaimed TS, Dummer PE, Bryant ST: The root canal shaping ability of WaveOne and Reciproc versus ProTaper Universal

- and Mtwo rotary NiTi systems. Saudi Endod J 2017; 7: 8-15.
13. *Thompson SA, Dummer PM*: Shaping ability of Hero 642 rotary nickel-titanium instruments in simulated root canals: Part 1. Int Endod J 2000; 33: 248-254.
  14. *Paqué F, Musch U, Hülsmann M*: Comparison of root canal preparation using RaCe and ProTaper rotary Ni-Ti instruments. Int Endod J 2005; 38: 8-16.
  15. *Łęski M, Radwański M, Pawlicka H*: Comparison of the shaping ability of two rotary files in simulated L-curved canals. Dent Med Probl 2014; 51: 336-344.
  16. *Mohammadi Z, Soltani MK, Shalavi S, Asgary S*: A Review of the Various Surface Treatments of NiTi Instruments. Iranian Endod J 2014; 9: 235-240.
  17. *Praisarnti C, Chang JW, Cheung GS*: Electropolishing enhances the resistance of nickel-titanium rotary files to corrosion-fatigue failure in hypochlorite. J Endod 2010; 36: 1354-1357.
  18. *Navós BV, Hoppe CB, Mestieri LB, Böttcher DE, Só MV, Grecca FS*: Centering and transportation: in vitro evaluation of continuous and reciprocating systems in curved root canals. J Conserv Dent 2016; 19: 478-481.
  19. *Stern S, Patel S, Foschi F, Sherriff M, Mannocci F*: Changes in centring and shaping ability using three nickel-titanium instrumentation techniques analysed by micro-computed tomography ( $\mu$ CT). Int Endod J 2012; 45: 514-523.
  20. *Nazari Moghadam K, Shahab S, Rostami G*: Canal Transportation and Centering Ability of Twisted File and Reciproc: A Cone-Beam Computed Tomography Assessment. Iranian Endod J 2014; 9: 174-179.

Address: 92-216 Łódź, ul. Pomorska 251  
Tel.: +4842 6757418, Fax: +4842 6757418  
e-mail: mateusz.radwanski@gmail.com

Received: 7<sup>th</sup> March 2017  
Accepted: 13<sup>th</sup> July 2017