

Valutazione dell'effetto meccanico di strumenti singoli con movimento reciprocante (sistema WaveOne) in canali radicolari contaminati

I trattamento endodontico ha subito tanti cambiamenti negli ultimi decenni, in particolar modo sugli aspetti tecnici della terapia; infatti, la tecnica di strumentazione è stata l'argomento più discusso a causa delle grandi innovazioni tecnologiche avvenute in questo ambito.

I sistemi rotanti sono stati sviluppati sfruttando un movimento meccanico di rotazione continua che presenta svariati vantaggi come un tempo di strumentazione ridotto rispetto agli strumenti manuali¹⁻³, un'alta percentuale di riduzione della flora batterica presente all'interno dei canali⁴⁻⁵ e una preparazione più centrata nel lume canalare^{6,7}. In ogni caso, la tecnica di strumentazione manuale è stata la più utilizzata per anni e rimane, a oggi, la metodica più insegnata nei percorsi universitari. Recentemente è stato sviluppato un nuovo sistema di strumentazione endodontico e proposto a livello mondiale, si tratta del sistema automatico WaveOne di Dentsply-Maillefer, uno strumento singolo con movimento reciprocante in

Manoel Eduardo de Lima Machado¹
Cleber Keiti Nabeshima²
Mário Francisco de Pasquali Leonardo²
Felipe Britto de Lima Machado³
Maria Leticia Borges Britto⁴
Silvana Cai⁵

¹Associate Professor, Department of Restorative Dentistry, School of Dentistry, University of São Paulo, São Paulo, SP, Brazil

²Post Graduate Student in Endodontics, Department of Restorative Dentistry, School of Dentistry, University of São Paulo, São Paulo, SP, Brazil

³Dentistry Student, University of Cruzeiro do Sul, São Paulo, SP, Brazil

⁴Coordinator Professor, Post Graduation in Endodontics, University of Cruzeiro do Sul, São Paulo, SP, Brazil

⁵Professor, Department of Microbiology, Institute of Biomedical Science, University of São Paulo, São Paulo, SP, Brazil

grado di pulire e sagomare il canale radicolare. La cinematica dello strumento è molto semplice: si tratta di un ampio raggio di rotazione nella direzione di taglio e un piccolo raggio in senso opposto, che permettono allo strumento di procedere lungo il percorso canalare (Figura 1).

Questo movimento di reciprocazione diminuisce la fatica ciclica a cui è sottoposto lo strumento⁸⁻¹⁰ e, inoltre, i file sono realizzati con una lega speciale Ni-Ti, modificata con un procedimento termico, che viene denominata M-Wire e che ha proprietà di resistenza meccaniche superiori alle leghe Ni-Ti convenzionali^{11,12}.

Il sistema risulta anche più pratico e veloce di quelli tradizionali¹³, riducendo di conseguenza la fatica nello svolgimento del lavoro e lo stress imposto al paziente. Tuttavia sono stati realizzati solo pochi

EVALUATION OF MECHANICAL ACTION OF SINGLE-FILE INSTRUMENTATION (WAVEONE SYSTEM) IN CONTAMINATED ROOT CANALS

Endodontic treatment has undergone many changes in the last decades with regard to several technical aspects, and instrumentation is the subject most discussed because of technological innovations.

Rotary systems were developed using mechanical motion with continuous rotation, which has great advantages such as less working time than with manual instrumentation¹⁻³, high percentage of bacterial reduction in the root canal^{4,5} and more centered preparation^{6,7}. However, manual instrumentation has been used for many years, and nowadays, it is still the first technique taught in the dental schools.

Recently, a new endodontic instrumentation system was developed and introduced around the world. This automated system, named WaveOne by Dentsply-Maillefer, consists of single-file for cleaning and shaping the root

canal by reciprocating motion. The instrument kinematics is very simple: a large rotating angle in the cutting direction and smaller angle of rotation in the opposite direction results in the file proceeding along the canal path (Figure 1).

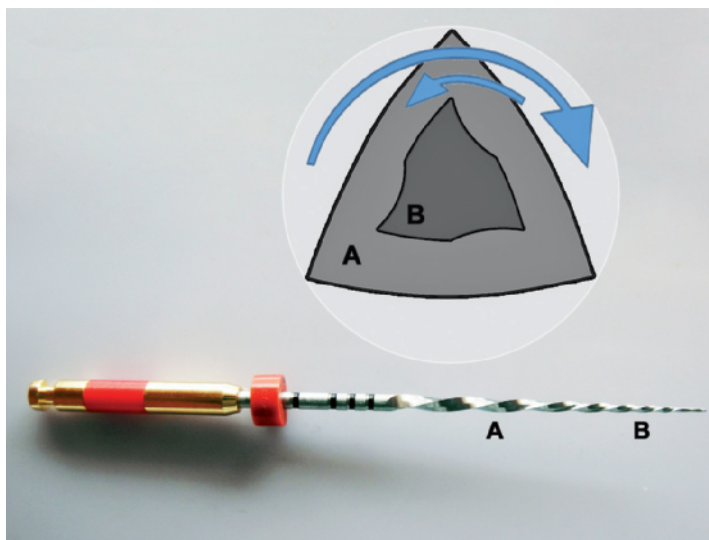
This reciprocating movement decreases cyclic fatigue of the instrument⁸⁻¹⁰. Furthermore, the files are made using M-Wire, a NiTi-alloy modified using a thermal-treatment process, which has shown better resistance properties than conventional NiTi^{11,12}.

Therefore, practicality and a faster procedure is possible using this system¹³, consequently reducing work fatigue and stress imposed on the patient. However, there have been few investigations on this single-file system, and those analyzing its mechanical action on contaminated root canals are practically lacking.

studi sui sistemi con uno strumento unico reciprocante e mancano articoli che ne analizzino l'azione meccanica su canali contaminati. Lo scopo di questo studio è stato quindi di valutare la riduzione dei batteri presenti all'interno dei canali strumentati meccanicamente con sistema WaveOne, comparandoli con la strumentazione manuale.

Materiali e metodi

In questo studio sono stati analizzati 32 canali disto-vestibolari di molari superiori dritti, singoli, con una lunghezza standard di



1. Movimento Reciprocante (frecce). A. Sezione trasversale coronale, a triangolo convesso. B. Sezione trasversale apicale, triangolo convesso modificato.

1. Reciprocating Movement (Arrows). A. Coronal cross-section, convex triangular. B. Apical cross-section, modified convex triangular.

Therefore, the aim of this study was to evaluate the bacterial reduction produced by the mechanical action of the WaveOne system in a contaminated root canal, comparing it with manual instrumentation.

MATERIALS AND METHODS

In the present study, it was used 32 single, straight, distobuccal root canals of upper molars, with length standardized to 12 mm. The root canals were instrumented to a working length of 11 mm, beginning with #8 K file up to #15 K file (Dentsply Maillefer, Ballaigues, VD, Switzerland).

The apex was covered with resin, and the external root surface including apex was sealed using epoxy resin (Araldite, Brascola, Joinville, SC, Brazil). The specimens were then fixed onto two 24-well Polystyrene microtiter plates using acrylic resin. Both plates with all specimens were sterilized by ethylene oxide (Acecil, Campinas, SP, Brazil).

12 mm. I canali sono stati strumentati a una lunghezza di lavoro di 11 mm, partendo con un K file #8 fino ad arrivare a un K file #15 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, VD, Switzerland). L'apice è stato coperto con della resina e anche l'esterno della radice, apice incluso, è stato sigillato con resina epossidica (Araldite, Brascola, Joinville, SC, Brazil).

I campioni sono stati quindi fissati su dei supporti in polistirene da 24 provette e bloccati con resina acrilica. Entrambi i supporti con i campioni installati sono stati sterilizzati con ossido di etilene (Acecil, Campinas, SP, Brazil).

È stata preparata una sospensione di *Enterococcus faecalis* (ATCC 29212) in un brodo di soia triptico (TSB, Difco, Le Pont de Claix, RA, France) e standardizzata al valore 4 della scala di McFarland e, sotto a una cappa ad aria filtrata, sono stati contaminati i canali con la sospensione di *E. faecalis* utilizzando una siringa da insulina. I supporti sono stati chiusi e incubati a 37° per 21 giorni e il contenuto dei canali è stato irrigato con TSB fresco ogni 48 ore.

Dopo il periodo d'incubazione, i canali sono stati riempiti con acqua sterile e i campioni di acqua contaminata sono stati raccolti con un cono di carta sterile #15 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, VD, Switzerland) inserito per un minuto all'interno del canale. In seguito le punte sterili sono state conservate in provette contenenti 500 µL di TSB e sono state preparate delle diluizioni predeterminate per le analisi della presenza batterica.

I batteri sono stati quantificati in base al numero di colonie formate per mL (CFU/mL) dopo aver inserito le differenti diluizioni dei campioni prelevati nei supporti di coltura agar con *m-Enterococcus* (Difco, Le Pont de Claix, RA, France) e incubati a 37° per 48 ore.

A suspension of *Enterococcus faecalis* (ATCC 29212) in tryptic soy broth (TSB, Difco, Le Pont de Claix, RA, France) was prepared and standardized to 4 on the McFarland scale, and in a filtered-air laminar flow hood, the root canals were contaminated with the *E. faecalis* suspension using an insulin syringe.

The plates were closed and incubated at 37 °C for 21 days, and the root canal contents were replaced with fresh TSB every 48 h.

After the incubation period, the root canals were filled with sterile peptone water. Next, samples were collected using three sterilized #15 paper points (Dentsply Maillefer, Ballaigues, VD, Switzerland), inserted for 1 minute each.

The points were then stored in tubes containing 500 µL TSB, and serial dilutions were prepared.

Bacteria were quantified based on colony-forming units per mL (CFU/mL) after plating different dilutions in triplicate on *m-Enterococcus* agar culture medium (Difco, Le Pont de Claix, RA, France) and incubating at 37 °C for 48 h.

I campioni sono stati quindi divisi in due gruppi (n=15) secondo le diverse tecniche di strumentazione:

Il Gruppo 1 è stato preparato con sistema WaveOne (Dentsply Maillefer, Ballaigues, VD, Switzerland) secondo le linee guida indicate dalla ditta produttrice.

È stato utilizzato il "primary file" (25.08) con il motore in sequenza reciprocante, facendolo penetrare prima nel terzo coronale ed estraendolo poi allo stesso modo nel terzo medio e in seguito terzo cervicale, fino a raggiungere la lunghezza di lavoro determinata. È stata effettuata dell'irrigazione con acqua distillata e un'esplorazione manuale con K file #15 dopo ogni passaggio di inserimento ed estrazione del file reciprocante. L'ultima irrigazione è stata realizzata con 5 ml di acqua distillata usando una siringa con punta da 29-gauge NaviTip (Ultradent Products, South Jordan, UT, USA).

Il Gruppo 2 è stato preparato con una tecnica di strumentazione manuale (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) secondo quanto descritto da Machado et al.¹⁴. I terzi cervicali e medi sono stati allargati con frese Gates-Glidden di misura da 1# a 3# (Dentsply Maillefer, Ballaigues, VD, Switzerland) e in seguito i canali sono stati preparati con una sequenza di diametro crescente di file fino a raggiungere la lunghezza di lavoro con K file #35. I canali radicolari sono stati quindi irrigati con acqua distillata che veniva applicata nuovamente dopo ogni singolo passaggio con strumenti manuali e, infine, irrigati con altri 5 mL di soluzione una volta terminata la preparazione, come nel Gruppo 1.

Il Gruppo di controllo era costituito da due campioni non contaminati, di cui uno è stato strumentato come nel Gruppo 1, mentre l'altro

come nel Gruppo 2. Dopo l'irrigazione finale i canali sono stati di nuovo riempiti con acqua distillata e sono stati raccolti i campioni con le punte di carta sterile per quantificare la colonizzazione batterica residua come descritto precedentemente. La conta batterica è quindi stata verificata sia prima che dopo la strumentazione e la percentuale di riduzione è stata registrata. I dati raccolti sono stati processati statisticamente con l'U test di Mann-Whitney per poterne valutare il livello di significatività statistico (significatività al 5%, $p < 0,05$).

Risultati

La valutazione della differenza tra i valori pre- e post-strumentazione ha evidenziato una riduzione media della carica batterica del 95,76% nel Gruppo WaveOne e del 92,97% nel Gruppo con tecnica manuale. Non sono state evidenziate differenze statisticamente significative tra i due gruppi ($p > 0,05$). I dati statistici sono mostrati nella Tabella 1.

Tabella 1 – Riduzione percentuale (%) di *Enterococcus faecalis* dopo la strumentazione con WaveOne o tecnica manuale.

Gruppo	N.	Minimo	Massimo	Media	SD
Wave One	10	88,57	99,17	95,76	3,15
Manuale	10	88,18	97,97	92,97	3,37

SD, deviazione standard

*Table 1 – Percentage Reduction (%) of *Enterococcus faecalis* post-instrumentation using WaveOne and manual technique.*

Group	N.	Minimum	Maximum	Mean	SD
Wave One	10	88,57	99,17	95,76	3,15
Manual	10	88,18	97,97	92,97	3,37

SD, standard deviation

The specimens were divided into two groups (n=15), according to the instrumentation technique used.

Group 1 was prepared using the WaveOne system (Dentsply Maillefer, Ballaigues, VD, Switzerland) as recommended by the manufacturer. The primary file (25.08) was used with the motor in reciprocating motion, gently penetrating the cervical third and withdrawing, then in the middle third and withdrawing, and next in the cervical third up to the working length. Irrigation with distilled water and exploration with a #15 K file were performed each time after withdrawing, and final irrigation was performed with 5 mL distilled water using a syringe and 29-gauge NaviTip (Ultradent Products, South Jordan, UT, USA).

Group 2 was prepared using manual technique instrumentation (Dentsply Maillefer, Ballaigues, Switzerland) according to Machado et al.¹⁴. The cervical and middle thirds were enlarged with Gates-Glidden drills #1, #2 and #3 (Dentsply Maillefer, Ballaigues, VD, Switzerland), and then, the canals were

instrumented in the working length up to #35K file. The root canals were instrumented with distilled water, which was renewed with each exchange of instrument, and irrigated with an additional 5 mL of the solution at the end of the preparation as in Group 1.

The Control Group consisted of two specimens not contaminated, but one was instrumented according to Group 1, and the other according to Group 2. After the final irrigation, the root canal was again filled with distilled water, and sampling with sterilized paper points was repeated for later plating and counting of CFU. Bacterial counts were determined before and after instrumentation, and the percentage of reduction was calculated. The data were statistically evaluated by the Mann-Whitney U test, and the significance level was set at 5% ($p < 0.05$).

Non è stata evidenziata la presenza di popolazione batterica nel Gruppo controllo, confermando quindi le condizioni di sterilità nelle quali è stato effettuato l'esperimento.

Discussione

Una riduzione dei tempi di lavoro è sicuramente un grande vantaggio delle tecniche dell'Odontoiatria moderna, ma è di fondamentale importanza valutare se queste nuove tecniche portano a risultati migliori o simili a quelli delle tecniche convenzionali.

L'effetto dell'azione meccanica degli strumenti endodontici sulla rimozione dei batteri presenti va attentamente valutata. Alcuni ceppi batterici come *Enterococcus faecalis* possono infatti persistere nel sistema canalare per lunghi periodi, anche in zone povere di nutrienti per i batteri, portando al fallimento delle terapie endodontiche¹⁵. La tecnica di contaminazione usata in questo studio, con 21 giorni di persistenza di *Enterococcus faecalis*, permette l'aumento della presenza batterica all'interno del canale e la sua organizzazione in bio-film¹⁶.

Il trattamento endodontico è una procedura chimico-meccanica che consiste in una combinazione di azione di strumentazione dei canali e di utilizzo di prodotti chimici come irriganti, medicazioni antibatteriche e cementi.

Alla tecnica di strumentazione presentata in questo studio non è stato associato l'utilizzo di irriganti, poiché lo scopo era quello di comparare l'azione meccanica di rimozione di batteri di due tecniche di strumentazione diverse, senza l'interferenza dovuta all'effetto di soluzioni chimiche.

I risultati dello studio hanno sottolineato come la riduzione della popolazione batterica ottenuta con il sistema WaveOne fosse simile al gruppo strumentato manualmente, in accordo quindi con precedenti lavori che hanno mostrato similitudini tra tecniche manuali e di strumentazione meccanica automatizzata^{4,17-19}.

Entrambe le tecniche, WaveOne e strumentazione manuale, utilizzano la cinematica proposta da Roane et al.²⁰, ovvero l'impiego di un ampio raggio di rotazione dello strumento in senso antiorario per tagliare la dentina e un piccolo arco in senso orario per procedere con il file all'interno del sistema canalare. La principale differenza tra i due sistemi è che la tecnica WaveOne si avvale di un sistema meccanico basato su un motore specifico che produce un movimento automatizzato reciprocante durante la sagomatura del canale.

Questo sistema è disponibile con tre file di dimensioni diverse: "small" (21.06), "primary" (25.08) e "large" (40.08); la scelta dipende dal diametro del canale. In questo studio è stato utilizzato il file "primary" perché la sonda di esplorazione utilizzata inizialmente era un K file #15.

Sono stati svolti molti studi sui premolari per valutare la riduzione dei batteri presenti^{18,21,22}, ma i molari fanno parte di quel gruppo di denti che più spesso è soggetto a terapie endodontiche; per questo motivo sono stati utilizzati nello studio, in modo da avvicinarsi il più possibile alla realtà clinica.

Inoltre i premolari hanno spesso un diametro più ampio di quello dei molari, per questo motivo in certi casi sarebbe stato più indicato il file WaveOne "large". È stato scelto di utilizzare il file "primary"

RESULTS

The difference between pre- and post-instrumentation showed a mean bacterial reduction of 95.76% in the WaveOne Group and 92.97% in the manual technique Group. No statistically significant difference was detected between the groups ($p > 0.05$). The statistical data are shown in Table 1.

There was no detectable bacterial growth in the Control Group, demonstrating the sterile conditions during experiment.

DISCUSSION

Less working time can be a great advantage of modern techniques in dentistry, but it is very important to determine if these techniques show better or similar performance than conventional techniques.

The mechanical action of the instrument on bacterial removal should be considered because some bacteria, such as *Enterococcus faecalis*, can survive for long periods in nutrient-poor areas and cause endodontic treatment

failure¹⁵. Therefore, *Enterococcus faecalis* was used in this study, and the 21-day contamination period allowed bacterial spread throughout the root canal system and its organization into biofilm¹⁶.

Endodontic treatment is a chemical-mechanical procedure that is a combination of instrument action and chemical substances such as irrigants, antibacterial medications and dressings. However, the instrumentation performed in this study just used distilled water for irrigation, since the objective was to compare the mechanical action of the systems without interference from an antimicrobial effect of chemical substances.

The results of the present study showed that the bacterial reduction produced by the WaveOne system was similar to that with manual instrumentation, in accordance with previous studies indicating similarity between the manual technique and other automated instrumentation techniques^{4,17-19}.

Both techniques, WaveOne and the manual technique, utilize the kinematics proposed by Roane et al.²⁰, i.e., using a large rotating angle in

di WaveOne perché, in accordo con la casa produttrice, è quello utilizzato per la maggior parte dei canali radicolari.

I canali mesio-vestibolari e palatali dei molari sono stati invece esclusi poiché sarebbe stato difficile isolarli e decontaminarli correttamente, rischiando quindi di influenzare la conta batterica. Inoltre, la standardizzazione del canale mesio-vestibolare sarebbe risultata particolarmente complessa per la presenza del quarto canale.

La sagomatura dell'apice radicolare nel Gruppo con tecnica manuale è stata effettuata con un K file #35, mentre nel Gruppo WaveOne la punta dello strumento era di misura differente (#25). L'uso di diametri in punta differenti è giustificato dal fatto che con le tecniche di sagomatura con strumenti automatici, come ProTaper, è possibile procedere con la chiusura anche con coni master in guttaperca che abbiano un diametro apicale più largo dell'ultimo strumento usato perché la sagomatura dei rotanti è più ampia dell'ultimo file con movimento automatico utilizzato^{14,23}.

WaveOne presenta la stessa caratteristica; questa osservazione, infatti, sembra essere concorde con i risultati ottenuti in questo studio.

La differente sagomatura può anche essere motivata dalla diversa conicità, che per gli strumenti manuali è pari al 2% mentre è dell'8% nel caso dello strumento "primary" WaveOne.

Per quanto riguarda invece la sagomatura del terzo medio e terzo coronale del canale, nel caso della tecnica manuale sono state usate frese di Gates-Glidden, producendo quindi una svasatura maggiore, non influenzando tuttavia sulle differenze tra i due gruppi

in termini di riduzione di presenza batterica.

Nessun campione è invece risultato completamente privo di batteri, in contraddizione con quanto espresso da Coldero et al.²⁴ che osservava come l'81% dei campioni strumentati con tecnica manuale avesse presenza batterica pari allo zero. Questa apparente contraddizione va valutata con attenzione: può essere, infatti, che le differenze osservate siano in realtà legate a limitazioni metodologiche; una piccola crescita batterica non può essere osservata con i metodi standard di coltura cellulare²⁵.

È interessante osservare come il sistema automatico WaveOne sia stato in grado di rimuovere il 95,76% dei batteri presenti senza l'utilizzo aggiuntivo di prodotti chimici, ottenendo un risultato paragonabile alle tecniche convenzionali ma in un tempo minore e senza perderne in qualità.

Conclusioni

L'azione meccanica del sistema WaveOne sui canali radicolari infetti produce una riduzione della carica batterica paragonabile a quanto ottenuto con la tecnica classica di strumentazione manuale.

© RIPRODUZIONE RISERVATA

Ringraziamenti

Gli Autori ringraziano ACECIL per la sterilizzazione con ossido di etilene, la rivista "Il Dentista Moderno" per la traduzione in italiano e il dottor A. Leyva per la revisione in inglese del manoscritto.

Corrispondenza/Correspondence

Manoel Eduardo de Lima Machado
Av. Prof. Lineu Prestes, 2227 – Cidade Universitária
05508-000, São Paulo, SP, Brazil
professormachado@hotmail.com

counterclockwise direction produces dentin cutting, and a smaller angle of rotation in the clockwise direction results in the file proceeding along the canal path.

The difference is that WaveOne is a mechanized system with a special device using a single file in reciprocal motion during root canal shaping.

This system is available in three file sizes: small (21.06), primary (25 .08) and large (40.08), and the choice depends on the diameter of the canal. In this study, we used the primary file because the first explorer file was a manual #15 K file.

Many studies have utilized premolars to evaluate bacterial reduction^{18,21,22}, but molars make up part of the tooth group with a high incidence of endodontic treatments, and thus, the use of molars in this case appears be closer to clinical reality.

Moreover, premolar root canals have a larger diameter compared to molars,

and the WaveOne large file would be indicated.

The use of the WaveOne primary file here should be highlighted, because according to the manufacturer, it is the file used on the majority of root canals. However, mesio-buccal and palatal root canals needed to be ruled out due to the difficulty in isolating them, which could influence bacterial sampling.

Standardization of the mesio-buccal root canal is also hampered by the presence of the fourth root canal.

Apical shaping in the manual technique group was performed using a #35 k file, while the instrument tip used in the WaveOne was different (#25).

The use of different tips is justified because it has been observed that during obturation, automated systems, such as ProTaper, allow the use of a gutta-percha master cone of apical diameter larger than the last instrument because the shaping is larger than the last automated file used^{14,23}.

WaveOne has shown the same characteristics, and this observation seems

Bibliografia/References

- 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* 2005;38(10):743-52.
- Peru M, Peru C, Mannocci F, Sheriff M, Buchanan LS, Pitt Ford TR. Hand and nickel-titanium root canal instrumentation performed by dental students: a micro-computed tomography study. *Eur J Dent Educ* 2006;10(1):52-9.
- Yin X, Cheung GS, Zhang C, Masuda YM, Kimura Y, Matsumoto K. Micro-computed tomographic comparison of nickel-titanium rotary versus traditional instruments in C-shaped root canal system. *J Endod* 2010;36(4):708-12.
- Chuste-Guillot M-P, Badet C, Peli J-F, Perez F. Effect of three nickel-titanium rotary file techniques on infected root dentin reduction. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2006;102(2):254-8.
- Machado MEL, Sapia LAB, Cai S, Martins GHR, Nabeshima CK. Comparison of two rotary systems in root canal preparation regarding disinfection. *J Endod* 2010;36(7):1238-40.
- Taşdemir T, Aydemir H, Inan U, Ünal O. Canal preparation with Hero 642 rotary Ni-Ti instruments compared with stainless steel hand K-file assessed using computed tomography. *Int Endod J* 2005;38(6):402-8.
- Aguiar CM, Mendes DA, Câmara AC, Figueiredo JAP. Evaluation of the centreing ability of the ProTaper Universal rotary system in curved roots in comparison to Nitiflex files. *Aust Endod J* 2009;35(3):174-9.
- De-Deus G, Moreira EJJ, Lopes HP, Elias CN. Extended cyclic fatigue life of F2 ProTaper instruments used in reciprocating movement. *Int Endod J* 2010;43(12):1063-8.
- You S-Y, Kim H-C, Bae K-S, Baek A-H, Kum K-Y, Lee WC. Shaping ability of reciprocating motion in curved root canals: a comparative study with micro-computed tomography. *J Endod* 2011;37(9):1296-300.
- Plotino G, Grande NM, Testarelli L, Gambarini G. Cyclic fatigue of Reciproc and WaveOne reciprocating instruments. *Int Endod J* 2012;45(7):614-8.
- Pereira ES, Peixoto IF, Viana AC, Oliveira II, Gonzalez BM, Buono VT et al. Physical and mechanical properties of a thermomechanically treated NiTi wire used in the manufacture of rotary endodontic instruments. *Int Endod J* 2012; 45(5): 469-474.
- Ye J, Gao Y. Metallurgical characterization of M-Wire nickel-titanium shape memory alloy used for endodontic rotary instruments during low-cycle fatigue. *J Endod* 2012;38(1):105-7.
- Bürklein S, Hinschitzka K, Dammaschke T, Schäfer E. Shaping ability and cleaning effectiveness of two single-file systems in severely curved root canals of extracted teeth: Reciproc and WaveOne versus Mtwo and ProTaper. *Int Endod J* 2012;45(5):449-61.
- Machado MEL, Shin RCF, Zólio AA, Pallotta RC, Nabeshima CK. Confronto tra la quantità di sigillante nell'otturazione canalare con l'uso di strumentazione e tecniche d'otturazione diverse. *Il Dent Mod* 2010;28:50-6.
- Sedgley CM, Lennan SL, Appelbe OK. Survival of *Enterococcus faecalis* in root canals ex vivo. *Int Endod J* 2005;38:735-42.
- Berber VB, Gomes BPPA, Sena NT, Vianna ME, Ferraz CCR, Zaia AA, Souza-Filho FJ. Efficacy of various concentrations of NaOCl and instrumentation techniques in reducing *Enterococcus faecalis* within root canal and dentinal tubules. *Int Endod J* 2006;39:10-7.
- Dalton BC, Ørstavik D, Pettiette M, Trope M. Bacterial reduction with nickel-titanium rotary instrumentation. *J Endod* 1998;24(11):763-7.
- Siqueira Jr JF, Lima KC, Magalhães FAC, Lopes HP, Uzeda M. Mechanical reduction of the bacterial population in the root canal by three instrumentation techniques. *J Endod* 1999;25(5):332-5.
- Matos Neto M, Santos SSF, Leão MVP, Habitante SM, Rodrigues JRDD, Jorge AOC. Effectiveness of three instrumentation systems to remove *Enterococcus faecalis* from root canals. *Int Endod J* 2012;45:435-438.
- Roane JB, Sabala CL, Duncanson Jr MG. The 'balanced force' concept for instrumentation of curved canals. *J Endod* 1985;11(5):203-11.
- Singla M, Aggarwal V, Logani A, Shah N. Comparative evaluation of rotary ProTaper, Profile, and conventional stepback technique on reduction in *Enterococcus faecalis* colony-forming units and vertical root fracture resistance of root canals. *Oral Surg Oral Med Oral Radiol Endod* 2010;109:e105-10.
- Gorduysus M, Nagas E, Torun OY, Gorduysus O. A comparison of three rotary systems and hand instrumentation technique for the elimination of *Enterococcus faecalis* from the root canal. *Aust Endod J* 2011;37:128-33.
- Araquam KR, Britto MLB, Nabeshima CK. Comparison of two single-cone obturation techniques. *ENDO (Lond Engl)* 2011;5(2):133-7.
- Coldero LG, McHugh S, Mackenzie D, Saunders WP. Reduction in intracanal bacteria during root canal preparation with and without apical enlargement. *Int Endod J* 2002;35(5):437-46.
- Siqueira Jr JF, Rôças IN. Exploiting molecular methods to explore endodontic infections. Part 1: Current molecular technologies for microbiological diagnosis. *J Endod* 2005;31(6):411-23.

consistent with the results of the present study.

The difference in taper should also be mentioned because the manual file has a 2% taper, while the WaveOne primary has an initial taper of 8%.

However, shaping in the coronal and middle thirds of the root canal in the manual technique was performed by Gates-Glidden drills, resulting in a larger taper, which did not produce a difference between the groups regarding bacterial reduction.

Any sample rendered bacteria-free, which contradicts the results of Coldero et al.²⁴ who observed that 81% of a sample shaped using the manual technique were bacteria-free, should be seen with caution due to method limitation, where very small bacterial growth is not detected by traditional culture methods²⁵. Interestingly, a bacterial reduction of 95.76% was achieved

with the mechanical action of the WaveOne system with no use of chemical substances.

This was comparable to the results with the conventional technique, but with faster instrumentation without loss of quality.

CONCLUSION

The mechanical action of the WaveOne system on an infected root canal produces similar bacterial reduction as the traditional manual instrumentation technique. ■

Acknowledgments

The Authors thank ACECIL for the ethylene oxide sterilization, Il Dentista Moderno for the Italian translation, and Dr. A. A. Leyva for the English revision of the manuscript.