

2022, Volume 9, ID 637

DOI: [10.15342/ijms.2022.637](https://doi.org/10.15342/ijms.2022.637)

RESEARCH ARTICLES

Evaluation of the Respect of the Root Canal Trajectory by Rotary Niti Instruments (Protaper®Universal): Retrospective Radiographic Study

Salma El abbassi , Sanaa Chala , Majid Sakout , Faïza Abdallaoui

Département d'Odontologie Conservatrice, Faculté de Médecine Dentaire de Rabat, Université Mohammed V de Rabat, Maroc.

ABSTRACT

Introduction: Root canal shaping is the critical step in endodontic therapy. Perioperative errors such as false canal stripping; may occur during this step. The endodontic instrumentation based on stainless steel is often the cause of these errors, and this is because of the rigidity of the alloy on which it is manufactured.

Unlike the endodontic NiTi instrumentation, this allowed better respect of the root canal path, thanks to the flexibility of the NiTi alloy.

Materiel and methods: This study aimed to assess the respect of the root canal path by the rotary NITI instruments of the ProTaper®universal system. This is a retrospective radiological study of 241 canals whose shaping was performed by the rotary ProTaper®universal system in the Department of Conservative Dentistry & Endodontics at the dental treatment and consultation center (CCTD), CHIS, of RABAT.

Results:

- We noted the occurrence of preoperative incidents at various percentages: The ledge has an incidence of the order of 3.3%, the false canal is 2.1%, and the stripping is 5.4%, while the zipping occurred in 1.7%.

-We also determined a relationship between stripping and a tight preoperative root canal angle.

Conclusion: all results suggest the reproducibility of the rotating ProTaper®universal system.

Keywords: Rotary NiTi Files; root canal path.

Correspondence: Dr Salma El abbassi, Address : Département d'Odontologie Conservatrice, Faculté de Médecine Dentaire de Rabat, Université Mohammed V de Rabat, Maroc. Email: salmabbss@gmail.com

Copyright © 2022 El abbassi S et al. This is an open access article distributed under the [Creative Commons Attribution 4.0 International](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/), which permits unrestricted use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

INTRODUCTION

La thérapeutique endodontique est actuellement bien codifiée, elle comporte différents temps opératoires dont la mise en forme canalaire qui représente une étape clé pour un meilleur pronostic[1].

Elle permet, grâce à l'action chimio-mécanique des instruments endodontiques et des irrigants, l'élimination du contenu canalaire, tout en mettant en forme le canal radiculaire, afin de recevoir une obturation tridimensionnelle à la gutta percha, scellant l'endodonte et préservant l'état de désinfection obtenue à l'issue de la préparation canalaire.

L'instrumentation endodontique à base d'acier inoxydable s'accompagnait d'un risque de déviation de la trajectoire canalaire initiale [2,3] et des incidents de parcours potentiels tels : la butée, le stripping, le déplacement de

l'ouverture foraminale, le zipping et la fracture instrumentale. À cause de la mémoire élastique des instruments, qui tend à redresser l'instrument dans les canaux courbes [4, 5,6].

En 1988, Walia et coll ont introduit l'alliage NiTi en endodontie [7]. Le NiTi est un alliage appartenant à la famille des alliages à mémoire de forme, cette dernière confère aux instruments NiTi une flexibilité supérieure à celle de l'acier inoxydable. Les instruments NiTi, ainsi, ont permis un meilleur respect du trajet canalaire initial [8].

Actuellement, plusieurs systèmes NiTi de mise en forme canalaire sont disponibles sur le marché. Chaque système se caractérise par son propre profil instrumental, ce dernier influence sa performance clinique.

Le système ProTaper® universal est un système NiTi de mise en forme canalaire, commercialisé depuis 2012, dont la conception est caractérisée principalement par la conicité importante et variable des instruments et leurs arrêtes coupantes, ainsi qu'un pas changeant [9].

Ce travail a pour objectif l'évaluation du respect de la trajectoire canalaire par des instruments NiTi ProTaper® universal.

MATERIEL ET METHODES

Nous avons mené une étude radiographique rétrospective, elle a porté sur 240 radiographies rétroalvéolaires (120 traitements endodontiques réalisés sur molaires avec prises des radiographies d'abord en préopératoire ensuite en postopératoire).

Le traitement endodontique a été réalisé par des étudiants de 5ème année durant leur stage clinique au service d'odontologie conservatrice du Centre des consultations et traitements dentaire de RABAT (MAROC).

Dans un premier temps, une interprétation des radiographies préopératoires sur négatoscope a été réalisée pour étudier l'état de la cavité endodontique, à la recherche de calcifications pulpaire (camérales et/ou canalaire), ainsi qu'à l'observation de l'angulation canalaire.

La radiographie rétroalvéolaire est prise par la technique des plans parallèles, à l'aide d'un angulateur afin de minimiser la déformation des structures dento-parodontales. La lecture et l'interprétation des radiographies sont réalisées par deux évaluateurs.

Evaluation de la survenue des accidents de parcours en endodontie

Après la mise en forme et obturation canalaire ; une deuxième analyse radiographique, sur négatoscope a été effectuée à la recherche d'incidents peropératoires (butée, faux canal, stripping, zipping). Une fiche d'observation a servi de véhicule d'information.

L'analyse des modifications de la trajectoire canalaire dues à la mise en forme canalaire par le système ProTaper®universal a été réalisée après obturation canalaire, car elles sont plus repérables. Les défauts d'obturation (sous-obturation, sur-obturation) ont été aussi relevés.

Méthode d'évaluation du respect de la trajectoire canalaire initiale

Après l'interprétation des radiographies préopératoire et postopératoire, celles-ci ont été numérisées, pour le calcul des angles canalaire et radiculaires

Dans notre étude, l'angle canalaire a été défini par deux droites, qui rejoignent le maximum de points constituant la paroi canalaire, l'une en amont l'autre en aval du maximum de la convexité canalaire. La même procédure est répétée pour la paroi radiculaire.

Le calcul d'angle a été réalisé par le logiciel image j (logiciel open source).

Pour mieux illustrer la méthodologie on prendra l'exemple d'une première molaire mandibulaire gauche. (Figures : 1 et 2)

Le calcul d'angles à l'aide du logiciel image j a donné les valeurs suivantes :

- Angle canalaire préopératoire : 151,75°
- Angle radiculaire préopératoire : 159,84°
- Angle canalaire postopératoire : 160,26°
- Angle radiculaire postopératoire : 164,83°

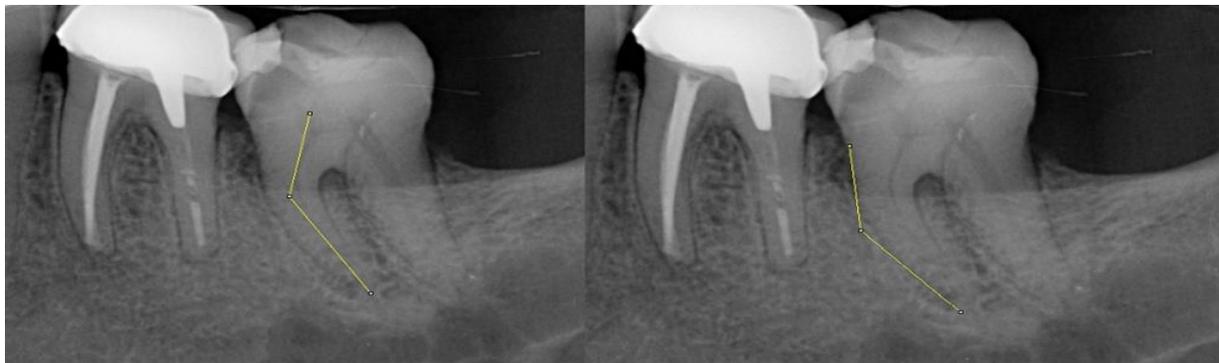


Figure 1 :calcul de l'angle canalaire et radiculaire en préopératoire



Figure 2 :calcul d'angle canalaire et radiculaire en postopératoire

Comme la déformation est inévitable même avec la technique utilisée pour la prise des radiographies (technique des plans parallèles), les angles calculés sont inexploitable séparément. En effet, la différence entre

l'angle canalaire postopératoire et l'angle canalaire préopératoire, concrétiserait le degré de redressement de la trajectoire canalaire initiale. Sauf que la déformation des radiographies pourrait biaiser les calculs.

Pour y remédier, On nommera, ainsi, un facteur β de déformation.

$$\beta = \text{angle radiculaire postopératoire} \div \text{angle radiculaire préopératoire}$$

Le choix s'est porté sur l'angle radiculaire pour calculer le facteur de déformation, parce qu'il demeure inchangé, après la mise en forme canalaire.

Le facteur β de déformation est calculé pour chaque canal. Par ailleurs, pour l'étude du changement de la trajectoire canalaire, on s'est basé sur deux données principales de la littérature [10]:

L'homothétie entre l'anatomie endodontique et l'anatomie dentaire externe.

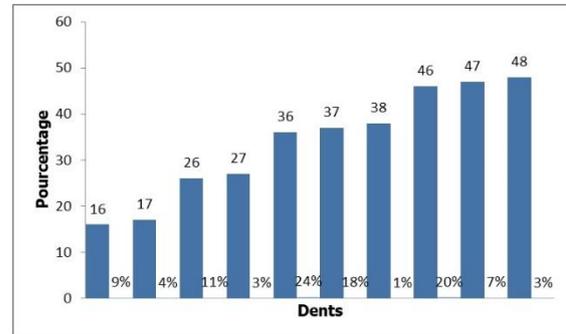
Durant la mise en forme canalaire, d'après H Schilder, l'évasement canalaire devrait se calquer sur la trajectoire canalaire initiale, donc l'homothétie devra être préservée.

Le calcul du facteur β déformation nous a permis de corriger la déformation et de définir un deuxième paramètre : l'angle canalaire postopératoire théorique (X). X est défini par :

$$X = \text{angle canalaire postopératoire (calculé sur la radiographie postopératoire)} \times \beta$$

En d'autres termes, X est l'angle canalaire « réel » en tenant compte du facteur déformation. La forte corrélation, qui existent entre le canal et sa paroi radiculaire devra se maintenir après mise en forme canalaire. Les paramètres β et X sont calculés pour chaque canal.

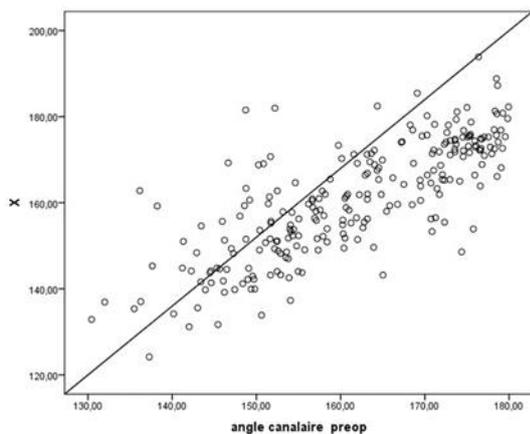
RESULTATS



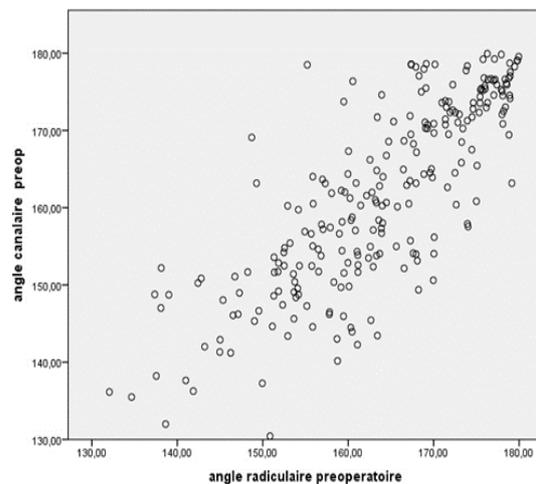
Graphisme1 : Répartition de l'échantillon en fonction des dents étudiées

Tableau 1: Pourcentage de survenue d'accidents de mise en forme canalaire	
	N=241
Butée	8 (3.3%)
Faux canal	5(2.1%)
Stripping	13(5.4%)
Ziping	4(1.7%)
Total	30(12.4%)

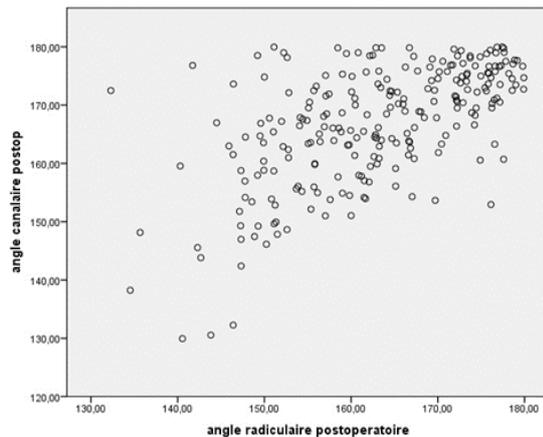
Tableau 2: Pourcentage de survenue des erreurs de la longueur de travail	
	N=241
Sur-obturation	6 (2,5%)
Sous-obturation	29 (12%)
Total	30 (14.5%)



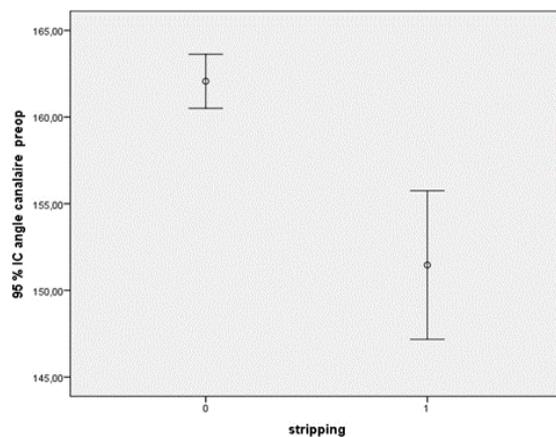
Graphisme 2 : en nuage de point, montrant l'évolution de l'angle canalaire postopératoire X en fonction de l'angle canalaire préopératoire. La droite dite de corrélation a l'équation suivante : $Y=1.6*X \pm 88$; $X=1.6*(\text{angle canalaire préopératoire}) \pm 88$ (Un graphisme en nuage de point renseigne sur le degré de liaison entre deux paramètres, plus les points sont rapprochés plus la liaison est importante)



Graphisme 3 : en nuage de point, montrant la corrélation entre l'angle canalaire préopératoire et l'angle radiculaire préopératoire.



Graphisme 4 : en nuage de point, montrant la corrélation entre l'angle canalaire postopératoire et l'angle radiculaire postopératoire.



Graphisme 5 : Montrant l'apparition du stripping en fonction de l'angulation canalaire préopératoire.

DISCUSSION

Notre étude a évalué le respect de la trajectoire canalaire initiale lors de la mise en forme canalaire par les instruments rotatifs du système ProTaper® universal.

La mise en forme canalaire a été réalisée par des étudiants en odontologie conservatrice, durant leur stage de formation de 5^{ème} année des études dentaires.

Moyennant des radiographies rétro-alvéolaires des traitements endodontiques (prises par la technique des plans parallèles) effectués par ces étudiants, nous avons relevé la survenue d'accidents peropératoires à des pourcentages variés.

Dans une étude semblable, Abu tahun et coll, les auteurs ont évalué la qualité de la mise en forme canalaire réalisée par deux techniques : la technique traditionnelle « step back » et le système ProTaper® universal rotatif, le moyen d'évaluation étant aussi la radiographie.

Ils ont conclu que le ProTaper® universal avait occasionné des butées dans 5,9% des cas, une incidence supérieure à celle retrouvée dans notre étude.

Les auteurs ont aussi rapporté l'absence de perforation radiculaire, ou encore du transport canalaire concernant le système ProTaper® universal [11].

Dans l'étude de Peru et coll [12], grâce à la microtomographie, 3 techniques de mise en forme canalaire : ProTaper® universal rotatif, système GT®, et la technique « double-flared » modifiée, ont été comparées.

Parmi les trois techniques citées, la « double flared » modifiée a été la seule responsable d'aberrations canalaires. Par ailleurs, les auteurs ont noté l'absence d'accidents peropératoires concernant les deux autres techniques (le système ProTaper® universal rotatif et le système GT®). De même, dans l'étude de Ünal et coll [13], les auteurs ont noté l'absence d'accidents peropératoires concernant le système ProTaper® universal.

Il faut noter que dans les trois études citées précédemment [11,12,13] l'opérateur était un étudiant, en cours de formation initiale.

Dans l'étude de Paqué [14], 40 molaires extraites ont été utilisées par des opérateurs expérimentés afin d'évaluer la qualité de la mise en forme canalaire réalisées par deux systèmes : le ProTaper® universal rotatif et le RACE®, les auteurs ont conclu que les deux systèmes ProTaper® universal et RACE® réalisent une mise en forme adéquate avec absence de perforations ou encore de zipping. Par ailleurs ils ont noté une perte de la longueur de travail dans 4 spécimens, 2 cas pour chaque système.

Quand à Peters et coll [15], ils n'ont relevé aucun incident concernant le système ProTaper® universal, précisant que c'est le seul système étudié.

Dans l'étude de Dan zhao [16] les auteurs ont comparé 3 systèmes de mise en forme canalaire (ProTaper® universal, ProTaper® next, et le système WAVE ONE®), ils ont conclu à l'absence d'erreurs opératoires concernant le système ProTaper® universal.

Evaluation du respect de la trajectoire canalaire initiale par l'instrumentation ProTaper® universal rotatif :

Parmi les principes mécaniques de la mise en forme canalaire : le calque ; en d'autres termes, et ce quel que soit le système de mise en forme canalaire utilisé, la forme finale des canaux doit se calquer sur l'anatomie endodontique initiale mais en plus large [10].

Dans notre étude, on a cherché la relation potentielle, devant exister, entre l'angle canalaire préopératoire et l'angle canalaire postopératoire X.

Dans les graphismes (2,3 et 4), dits graphismes en nuage de points, ils témoignent sur la force de liaison entre deux paramètres, en règle générale, plus les points sont rapprochés plus la corrélation (lien) est importante. En effet dans le graphisme 2, les points sont regroupés, suggérant le lien réciproque entre l'angle canalaire préopératoire et l'angle canalaire postopératoire nommé paramètre X, autrement dit, les dits paramètres varient conjointement et dans le même sens.

L'ensemble des graphismes de corrélation (2,3 et 4) feront suggérer un rapport réciproque entre l'anatomie canalaire préopératoire et celle après mise en forme canalaire par le système ProTaper® universal rotatif.

En d'autres termes, la trajectoire canalaire serait minimalement modifiée par l'instrumentation ProTaper® universal rotatif, un respect de la trajectoire canalaire serait ainsi suggéré, autrement dit et dans le cas contraire, la corrélation aurait été faible et les points des graphismes seraient dispersés.

Anatomie endodontique et mise en forme canalaire

Indépendamment du système de mise en forme canalaire, l'anatomie endodontique peut potentiellement accentuer le phénomène du transport canalaire [17,18]

Par ailleurs, l'influence de l'angulation canalaire sur le comportement instrumental a été amplement démontrée.

Abstraction faite du système de mise en forme canalaire utilisé, il semblerait que plus le degré de courbure est grand et plus le rayon de courbure est petit, plus le risque de transport canalaire est élevé et l'apparition des accidents de parcours en endodontie [1, 15, 19].

Le graphisme n°5 montre le risque d'apparition de stripping en fonction de l'angulation canalaire préopératoire.

On remarque que plus le canal est courbe (angle canalaire préopératoire serré) plus le risque d'apparition de stripping est important.

Comparaison : système ProTaper® universal et autres systèmes rotatifs NiTi (tableau n°3)

Globalement, dans la littérature, on attribue au système Protaper un élargissement canalaire important, d'abord coronairement par l'action du Sx [20] et, apicalement, par la rigidité relative des « finishing file ».

Gardons à l'esprit, que plusieurs sources de contradiction entre les études peuvent être notées, comme la nature de l'échantillon, les méthodologies, critères d'évaluation... ; La principale source de divergence qui existe entre les études est l'expertise de l'opérateur, au terme d'études précédentes, les étudiants cliniciens peuvent mener une mise en forme canalaire adéquate avec l'instrumentation NiTi rotative [21].

Contrairement à d'autres études selon lesquelles l'expérience clinique influence la qualité de la mise en forme canalaire [22-24].

Un autre détail à souligner, dans notre étude il existe pratiquement autant d'opérateurs que le nombre de dents de l'étude, ceci est un facteur de disparité de résultats. Et c'est le cas des études dont l'opérateur est un étudiant [11-13].

Tableau 3 : Comparaison entre le système ProTaper® universal et d'autres systèmes rotatifs au travers des études (incidence de survenue d'accidents peropératoires , respect de la trajectoire canalaire, changement du volume canalaire).

Etude	Systèmes de mise en forme étudiés	Conclusion des auteurs
Guelzow et coll [25]	FlexMaster®, System GT®, Hero 642®, K3®, Protaper® universal et Race®	Globalement, Pas différence significative, néanmoins Protaper® universal serait à l'origine d'une mise en forme canalaire plus homogène.
Javaheri et coll [26]	ProTaper® universal ,Race® ou Hero642 ®.	ProTaper® universal serait à l'origine d'un redressement canalaire plus important
Loizides et coll [27]	ProTaper® universal , Hero®	ProTaper® universal serait à l'origine d'un redressement canalaire plus important
Yang et coll [28]	ProTaper® universal , Mtwo®	ProTaper® universal occasionnerait un transport canalaire dans la partie apicale par rapport au système Mtwo®
Kuzekanani et coll [29]	ProTaper® universal , Mtwo®	ProTaper® universal occasionnerait plus de transport canalaire
Vallaëys et coll [30]	ProTaper® universal, Mtwo® et Revo-s TM	Pas de différence significative
Hashem et coll [31]	TWISTED FILE®, Revo-s TM , GTX , ProTaper® universal	ProTaper® universal serait moins respecter la trajectoire canalaire
Tambe et coll [32]	ProTaper® universal, One Shape®, WAVE ONE ®	le système ProTaper® universal serait le système le moins fiable
Duque et coll [33]	ProTaper® universal, PROTAPER GOLD®	Globalement, pas de différence significative, néanmoins les instruments du ProTaper GOLD® maintiendrait une mise en forme canalaire plus centrée dans la partie cervicale
Park et coll [34]	Vortex Blue®, ProTaper NEXT®, ProTaper® universal	ProTaper NEXT® occasionnerait moins de transport canalaire que le ProTaper® universal dans les trois derniers millimètres apicaux. Vortex Blue causerait moins d'accidents de parcours de mise en forme canalaire.

CONCLUSION

Notre étude a eu comme objectif principal : l'étude du respect de la trajectoire canalaire par les instruments NiTi rotatif du système ProTaper®universal.

Au terme de notre étude, nous avons constaté des accidents suite à la mise en forme canalaire à des pourcentages variés. Nous avons aussi établi une corrélation entre l'angle canalaire préopératoire et le paramètre X. Nous avons également déterminé une relation entre le stripping et un angle canalaire préopératoire serré.

Finalement l'ensemble des résultats fait suggérer la reproductibilité du système ProTaper®universal, et que même un novice du métier, il peut l'adopter comme un système de mise en forme canalaire sûre et efficace.

ACKNOWLEDGMENTS

None.

AUTHORS' CONTRIBUTIONS

The participation of each author corresponds to the criteria of authorship and contributorship emphasized in the [Recommendations for the Conduct, Reporting, Editing, and Publication of Scholarly work in Medical Journals of the International Committee of Medical Journal Editors](#). Indeed, all the authors have actively participated in the redaction, the revision of the manuscript, and provided approval for this final revised version.

COMPETING INTERESTS

The authors declare no competing interests with this case.

FUNDING SOURCES

None.

REFERENCES

- [1] Ruddle C. Cleaning and shaping the root canal system. In: Cohen S, Burns R, eds. *Pathways of the Pulp*, 8th edn. St Louis, MO: Mosby, 2002: 231–292.
- [2] Esposito PT, Cunningham CJ. A comparison of canal preparation with nickel-titanium and stainless steel instruments. *J Endod*. 1995 Apr;21(4):173-6. DOI: [10.1016/s0099-2399\(06\)80560-1](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(06)80560-1)
- [3] Glossen CR, Haller RH, Dove SB, del Rio CE. A comparison of root canal preparations using Ni-Ti hand, Ni-Ti engine-driven, and K-Flex endodontic instruments. *J Endod*. 1995 Mar;21(3):146-51. DOI: [10.1016/s0099-2399\(06\)80441-3](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(06)80441-3)
- [4] Poulsen WB, Dove SB, del Rio CE. Effect of nickel-titanium engine-driven instrument rotational speed on root canal morphology. *J Endod*. 1995 Dec; 21(12):609-12. DOI: [10.1016/s0099-2399\(06\)81113-1](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(06)81113-1)
- [5] Tharuni SL, Parameswaran A, Sukumaran VG. A comparison of canal preparation using the K-file and Lightspeed in resin blocks. *J Endod*. 1996 Sep; 22(9):474-6. DOI: [10.1016/s0099-2399\(96\)80081-1](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(96)80081-1)
- [6] Itzhak JB, Solomonov M, Lvovsky A, Shemesh A, Levin A, Grande NM, et al. Comparison between stainless steel and nickel-titanium rotary preparation time for primary molar teeth by endodontists and pedodontists. *Turk Endod J*. janv 2018;3(1):1–4. DOI: [10.14744/TEJ.2018.81300](https://doi.org/10.14744/TEJ.2018.81300)
- [7] Walia HM, Brantley WA, Gerstein H. An initial investigation of the bending and torsional properties of Nitinol root canal files. *J Endod*. 1988 Jul; 14(7):346-51. DOI: [10.1016/s0099-2399\(88\)80196-1](https://doi.org/10.1016/s0099-2399(88)80196-1)
- [8] AlRahabi MK, Ghabbani HM. Removal of a separated endodontic instrument by using the modified hollow tube-based extractor system: A case report. *SAGE Open Med Case Rep*. 2020 Feb 21; 8:2050313X20907822. DOI: [10.1177/2050313X20907822](https://doi.org/10.1177/2050313X20907822)
- [9] Martin D, Amor J, Machtou P. Endodontie mécanisée le système ProTaper® principes et guide d'utilisation. *Rev Odont Stomat* 2002;31:33-42.
- [10] Schilder H. Cleaning and shaping the root canal. *Dent Clin North Am*. 1974 Apr; 18(2):269-96.
- [11] Abu-Tahun I, Al-Rabab'ah MA, Hammad M, Khraisat A. Technical quality of root canal treatment of posterior teeth after rotary or hand preparation by fifth year undergraduate students, The University of Jordan. *Aust Endod J*. 2014 Dec;40(3):123-30. DOI: [10.1111/aej.12069](https://doi.org/10.1111/aej.12069)
- [12] Peru M, Peru C, Mannocci F, Sherriff M, Buchanan LS, Pitt Ford TR. Hand and nickel-titanium root canal instrumentation performed by dental students: a micro-computed tomographic study. *Eur J Dent Educ*. 2006 Feb;10(1):52-9. DOI: [10.1111/j.1600-0579.2006.00395.x](https://doi.org/10.1111/j.1600-0579.2006.00395.x)
- [13] Ünal GÇ, Maden M, Orhan EO, Sartekin E, Teke A. Root canal shaping using rotary nickel-titanium files in preclinical dental education in Turkey. *J Dent Educ*. 2012 Apr; 76(4):509-13.
- [14] Paqué F, Musch U, Hülsmann M. Comparison of root canal preparation using RaCe and ProTaper rotary Ni-Ti instruments. *Int Endod J*. 2005 Jan;38(1):8-16. DOI: [10.1111/j.1365-2591.2004.00889.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2004.00889.x)
- [15] Peters OA, Peters CI, Schönenberger K, Barbakow F. ProTaper rotary root canal preparation: effects of canal anatomy on final shape analysed by micro CT. *Int Endod J*. 2003 Feb;36(2):86-92. DOI: [10.1046/j.1365-2591.2003.00626.x](https://doi.org/10.1046/j.1365-2591.2003.00626.x)
- [16] Zhao D, Shen Y, Peng B, Haapasalo M. Root canal preparation of mandibular molars with 3 nickel-titanium rotary instruments: a micro-computed tomographic study. *J Endod*. 2014 Nov; 40(11):1860-4. DOI: [10.1016/j.joen.2014.06.023](https://doi.org/10.1016/j.joen.2014.06.023)
- [17] Jafarzadeh H, Abbott PV. Ledge formation: review of a great challenge in endodontics. *J Endod*. 2007 Oct;33(10):1155-62. DOI: [10.1016/j.joen.2007.07.015](https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.07.015)
- [18] Hartmann MS, Barletta FB, Camargo Fontanella VR, Vanni JR. Canal transportation after root canal instrumentation: a comparative study with computed tomography. *J Endod*. 2007 Aug;33(8):962-5. DOI: [10.1016/j.joen.2007.03.019](https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.03.019)
- [19] Greene KJ, Krell KV. Clinical factors associated with ledged canals in maxillary and mandibular molars. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol*. 1990 Oct;70(4):490-7. DOI: [10.1016/0030-4220\(90\)90217-g](https://doi.org/10.1016/0030-4220(90)90217-g)
- [20] 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 Oct;38(10):743-52. DOI: [10.1111/j.1365-2591.2005.01010.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2005.01010.x)
- [21] Sonntag D, Ott M, Kook K, Stachniss V. Root canal preparation with the NiTi systems K3, Mtwo and ProTaper. *Aust Endod J*. 2007 Aug;33(2):73-81. DOI: [10.1111/j.1747-4477.2007.00062.x](https://doi.org/10.1111/j.1747-4477.2007.00062.x)
- [22] Schäfer E, Schulz-Bongert U, Tulus G. Comparison of hand stainless steel and nickel titanium rotary instrumentation: a clinical study. *J Endod*. 2004 Jun;30(6):432-5. DOI: [10.1097/00004770-200406000-00014](https://doi.org/10.1097/00004770-200406000-00014)
- [23] Muñoz E, Forner L, Llana C. Influence of operator's experience on root canal shaping ability with a rotary nickel-titanium single-file reciprocating motion system. *J Endod*. 2014 Apr; 40(4):547-50. DOI: [10.1016/j.joen.2013.08.027](https://doi.org/10.1016/j.joen.2013.08.027)
- [24] Eleftheriadis GI, Lambriandis TP. Technical quality of root canal treatment and detection of iatrogenic errors in an undergraduate dental clinic. *Int Endod J*. 2005 Oct; 38(10):725-34. DOI: [10.1111/j.1365-2591.2005.01008.x](https://doi.org/10.1111/j.1365-2591.2005.01008.x)
- [25] Bonaccorso A, Cantatore G, Condorelli GG, Schäfer E, Tripi TR. Shaping Ability of Four Nickel-Titanium Rotary Instruments in Simulated S-Shaped Canals. *J Endod*. 2009 Jun; 35(6): 883-886. DOI: [10.1016/j.joen.2009.03.007](https://doi.org/10.1016/j.joen.2009.03.007)
- [26] Javaheri HH, Javaheri GH. A comparison of three Ni-Ti rotary instruments in apical transportation. *J Endod*. 2007 Mar; 33(3):284-6. DOI: [10.1016/j.joen.2006.05.004](https://doi.org/10.1016/j.joen.2006.05.004)
- [27] Loizides AL, Kakavetsos VD, Tzanetakakis GN, Kontakiotis EG, Eliades G. A comparative study of the effects of two nickel-titanium preparation techniques on root canal geometry assessed by microcomputed tomography. *J Endod*. 2007 Dec;33(12):1455-9. DOI: [10.1016/j.joen.2007.07.019](https://doi.org/10.1016/j.joen.2007.07.019)
- [28] Yang G, Yuan G, Yun X, Zhou X, Liu B, Wu H. Effects of two nickel-titanium instrument systems, Mtwo versus ProTaper universal, on root canal geometry assessed by micro-computed tomography. *J Endod*. 2011 Oct; 37(10):1412-6. DOI: [10.1016/j.joen.2011.06.024](https://doi.org/10.1016/j.joen.2011.06.024)
- [29] Kuzekanani M, Walsh LJ, Yousefi MA. Cleaning and shaping curved root canals: Mtwo vs ProTaper instruments, a lab comparison. *Indian J Dent Res*. 2009 Jul-Sep;20(3):268-70. DOI: [10.4103/0970-9290.57355](https://doi.org/10.4103/0970-9290.57355)
- [30] Vallaeyts K, Chevalier V, Arbab-Chirani R. Comparative analysis of canal transportation and centring ability of three Ni-Ti rotary endodontic systems: Protaper®, MTwo® and Revo-S™, assessed by micro-computed tomography. *Odontology*. 2016 Jan;104(1):83-8. DOI: [10.1007/s10266-014-0176-z](https://doi.org/10.1007/s10266-014-0176-z)
- [31] Hashem AA, Ghoneim AG, Lutfy RA, Foda MY, Omar GA. Geometric analysis of root canals prepared by four rotary NiTi shaping systems. *J Endod*. 2012 Jul;38(7):996-1000. DOI: [10.1016/j.joen.2012.03.018](https://doi.org/10.1016/j.joen.2012.03.018)
- [32] Tambe VH, Nagmode PS, Abraham S, Patatit M, Lahoti PV, Jaju N. Comparison of canal transportation and centering ability of rotary protaper, one shape system and wave one system using cone beam computed tomography: An in vitro study. *J Conserv Dent*. 2014 Nov;17(6):561-5. DOI: [10.4103/0972-0707.144605](https://doi.org/10.4103/0972-0707.144605)
- [33] Duque JA, Vivian RR, Cavenago BC, Amoroso-Silva PA, Bernardes RA, Vasconcelos BC, et al. Influence of NiTi alloy on the root canal shaping capabilities of the ProTaper Universal and ProTaper Gold rotary instrument systems. *J Appl Oral Sci*. 2017 Jan-Feb;25(1):27-33. DOI: [10.1590/1678-77572016-0230](https://doi.org/10.1590/1678-77572016-0230)
- [34] Park HJ, Seo MS, Moon YM. Root canal volume change and transportation by Vortex Blue, ProTaper Next, and ProTaper Universal in curved root canals. *Restor Dent Endod*. 2017 Dec 24;43(1):e3. DOI: [10.5395/rde.2018.43.e3](https://doi.org/10.5395/rde.2018.43.e3)