

Comparaison de la résistance en fatigue cyclique des instruments endodontiques en NiTi Protaper Next®, Hyflex CM® et One Curve®

C. GOUEDARD^a, M. DALLA CORTE^b, G. HUON^b,
L. PINO^c, S. CALLOCH^d, R. ARBAB-CHIRANI^e, V. CHEVALIER^a,
S. ARBAB-CHIRANI^c

- a. IRDL-UBO/CHRU, Brest ; charlotte.gouedard@gmail.com;
valerie.chevalierherisset@gmail.com
b. UBO/CHRU, Brest
c. IRDL-ENIB ; France ; laurent.pino@enib.fr
d. IRDL-ENSTA Bretagne, Brest
e. LaTIM-UBO/CHRU, Brest

Résumé :

L'acte endodontique consiste en un nettoyage chimio-mécanique du réseau canalaire d'une dent engagée dans un processus pathologique, afin de rendre cette entité saine et sans risque infectieux. Ce nettoyage nécessite principalement des instruments mécanisés en Nickel-Titane (NiTi). Ce traitement est un acte quotidien pour les praticiens mais pourtant à l'origine de stress important du fait du risque de fracture de ces instruments dans le réseau canalaire. Ces fractures peuvent conduire à l'échec de la thérapeutique. Les fabricants et distributeurs offrent une multitude d'instruments endodontiques, présentant des innovations pour améliorer la résistance mécanique des instruments. Parmi elles, des améliorations de l'alliage NiTi sont obtenues par traitement thermo-mécanique.

Le but de notre étude est de comparer la résistance à la fatigue cyclique de 3 instruments endodontiques actuels, traités thermo-mécaniquement, de diamètre (0,25 mm) et de conicité (6%) similaires (Hyflex CM®, One Curve® et Protaper Next X2®) en les sollicitant à un angle de 60 ° et un rayon de courbure de 5mm (correspondant, dans la réalité clinique, à un canal dentaire courbé).

Abstract :

The endodontic act consists of a chemo-mechanical cleansing of the root canal of a tooth engaged in a pathological process, in order to make this entity healthy and without risk of infection. This cleaning requires mainly mechanised Nickel-Titanium (NiTi) instruments. This treatment is a daily act for practitioners, but it causes significant stress due to the risk of fractures of these instruments in the root canal. These fractures can lead to the failure of therapy. Manufacturers and distributors offer a multitude of endodontic instruments, presenting innovations to improve the mechanical behavior of the instruments. Among them, improvements are obtained by thermomechanical treatments. The purpose of our study is to compare the cyclic fatigue resistance of 3 current thermomechanically treated endodontic instruments with similar diameter (0.25 mm) and taper (6%) (Hyflex CM®, One Curve® and Protaper Next X2®) by testing them at an angle of 60° and a radius of curvature of 5mm (corresponding to a curved dental canal).

Mots clefs : ProTaper Next® ; One Curve® ; Hyflex CM® ; Cyclic fatigue.

1 Introduction

Le nickel-titane (NiTi) possède des propriétés remarquables, telles que l'effet mémoire de forme et la superélasticité grâce à la transformation martensitique. Il présente également une bonne biocompatibilité, ce qui permet son utilisation pour les dispositifs médicaux. C'est le cas en endodontie.

L'endodontie est la discipline de l'odontologie (dentisterie) qui consiste dans la prévention, le diagnostic et le traitement des maladies de la pulpe dentaire et des infections péri-apicales (autour des racines). Des instruments rotatifs mécanisés en NiTi sont utilisés lors du nettoyage et de la mise en forme du réseau canalaire intra-radulaire. L'alliage NiTi a d'abord été utilisé dans la confection de ces instruments pour sa superélasticité (transformation de l'austénite vers la martensite sous contrainte). Cependant, le principal problème de l'utilisation clinique de ces instruments NiTi reste la fracture en torsion ou en fatigue de flexion.

Les fabricants cherchent constamment à améliorer les instruments. Dans ce but, différentes stratégies ont été développées, dont des traitements thermomécaniques. Ainsi, il a été rapporté que les alliages NiTi traités thermo-mécaniquement étaient plus flexibles et avaient une résistance améliorée à la fatigue cyclique, grâce à une composition de phase modifiée avec différents pourcentages de R-phase et de martensite à température ambiante [1]. Cela permet une plus grande déformation des instruments due à la réorientation des variants de martensite.

Ainsi, les instruments One Curve® (Micro Mega, Besançon, France) et Hyflex CM® (Coltene-Whaledent, Allstetten, Suisse) sont principalement martensitiques à température ambiante [1 ;2]. L'instrument Protaper Next® (Dentsply Sirona, York, États-Unis) est austénitique à température ambiante, même s'il a bénéficié du traitement thermomécanique M-wire, lui conférant de petites quantités de R-phase et de martensite [3].

À ce jour, il y a un manque d'information sur One Curve® dans la littérature.

L'objet de cette étude est de comparer la résistance cyclique à la fatigue d'un instrument récemment commercialisé One Curve® avec celles d'instruments plus étudiés tels que ProTaper Next® et Hyflex®.

2 Matériel et méthodes

2.1 Echantillons

Au total, 30 instruments ont été testés.

Les instruments sélectionnés sont :

- Protaper Next® X2 (taille 0,25 mm, 6 % de conicité) (commercialisé par Dentsply Sirona, York, États-Unis), austénitique à température ambiante, instrument séquentiel à usage unique et de section rectangulaire,
- One Curve® (taille 0,25 mm, 6 % de conicité) (commercialisé par Micro Mega, Besançon, France), principalement martensitique à température ambiante, instrument unique à usage unique et de section variable (en triple hélice à la pointe puis en S vers le manche),
- Hyflex CM® (taille 0,25mm, 6 % de conicité) (commercialisé par Coltene-Whaledent, Allstetten, Suisse), principalement martensitique à température ambiante, instrument séquentiel ou unique en fonction du canal, à usage multiple et de section triangulaire.

Les 10 instruments testés de chaque groupe étaient, bien évidemment, vierges au début de chaque essai.

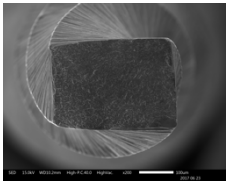
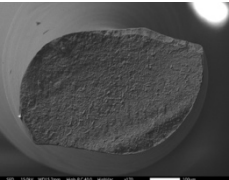
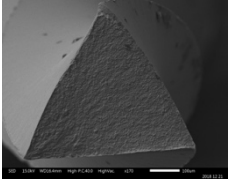
Instrument	État à température ambiante	Section	Utilisation
ProTaper Next®	NiTi M-Wire, austénitique avec R-phase et martensite	Rectangulaire excentré 	Séquentiel, usage unique
One Curve®	C-Wire, majoritairement martensitique	Section variable (en S au haut, triangulaire à la pointe) 	Unique, usage unique
Hyflex CM®	Martensitique avec R-phase et austénite	Triangulaire 	Peut être unique ou séquentiel, usage multiple

Tableau 1 : Tableau récapitulatif des principales caractéristiques géométriques et d'utilisation des instruments testés

2.2 Essais expérimentaux de fatigue cyclique

Les instruments de chaque système ont été soumis à un essai de fatigue cyclique avec un angle de courbure de 60° et un rayon de courbure de 5 mm, grâce à une machine de flexion rotative.

Celle-ci est constituée d'un axe moteur tournant avec un mors maintenant l'instrument au niveau de son manche et d'un axe de flexion où se situe un tube (diamètre intérieur de 0,68 mm) pour insérer la pointe de l'instrument. Les deux axes sont distants de 16 millimètres et le centre de rotation est situé à 10 millimètres du mandrin tournant.

La pointe de chaque instrument est insérée dans le tube sur 4 mm, tandis que son manche est fixé dans le mandrin tournant sur 5 millimètres. Un transducteur optique angulaire relié à un contrôleur de processus contrôle l'angle de flexion. Un programme d'ordinateur ajuste la déviation angulaire à zéro.

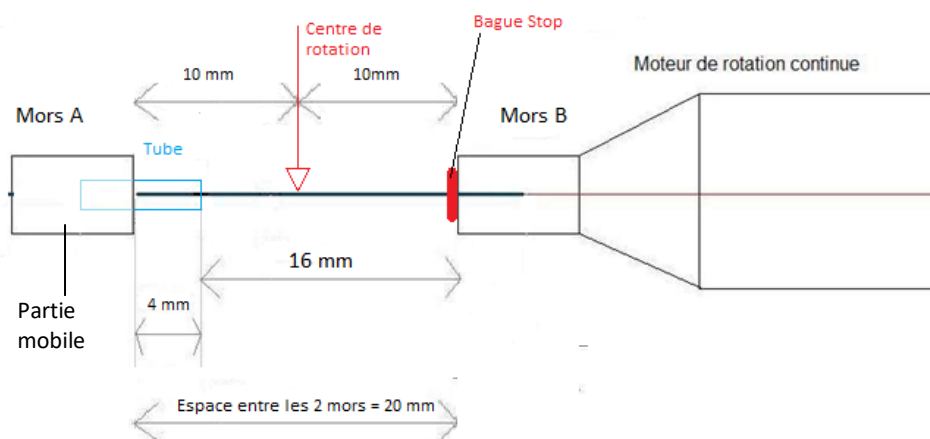


Figure 1 : Configuration de l'essai en fatigue cyclique grâce au dispositif de flexion rotative

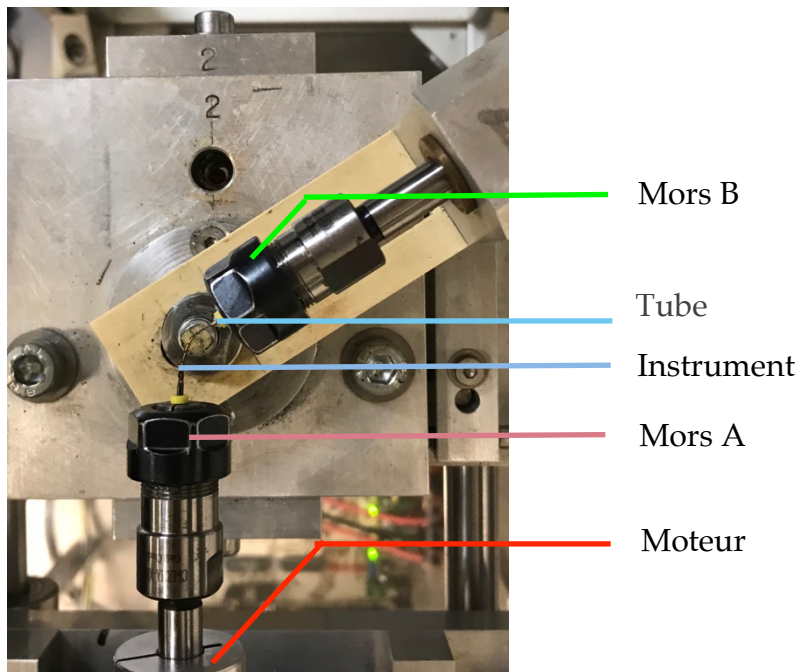


Figure 2 : Configuration du dispositif au cours d'un essai de fatigue cyclique mené à 60°

L'instrument est ensuite amené jusqu'à un angle de 60° à une vitesse maximale de 4 degrés/seconde ; il est alors mis en rotation à une vitesse de 400 tours/minute. Pour réduire la friction et prévenir la surchauffe, la pointe de l'instrument est enduite de graisse (Molykote 33 Medium™, Down Corning GMBH®, Wiesbaden, Allemagne), permettant une lubrification permanente.

Le couple de flexion de l'instrument est mesuré jusqu'à la rupture avec une cellule de charge de 20 N.cm⁻¹ (Buster 8625-4200, A-instruments Ltd, Toronto, Canada). La diminution de la valeur de ce couple de flexion correspond à la rupture de l'instrument. Le temps écoulé avant la rupture (en secondes) et le nombre de cycles jusqu'à la rupture (NCF) sont alors calculés.

2.3 Analyse statistique

L'ensemble des données est analysé à l'aide d'une analyse de variance unidirectionnelle et du test de Tukey post-hoc. Le niveau de significativité est placé à $p < 0,05$.

3 Résultats

Les nombres de cycles jusqu'à la fracture (NCF) ainsi que les longueurs des fragments (FL) des instruments cassés des 3 groupes d'instruments sont présentés dans le tableau 1.

Groupe	N	NCF à 60°	FL (mm)
Protaper Next®	10	731 +/- 108 ^a	12,509 +/- 1,01
Hyflex CM®	10	1009 +/- 110 ^b	12,07 +/- 0,12
One Curve®	10	984 +/- 122 ^b	13,502 +/- 0,47

Tableau 2 : Résistance à la fatigue cyclique des 3 groupes d'instruments NiTi.

À 60 °, Hyflex CM® et One Curve® montrent des valeurs significativement plus élevées que Protaper Next® en terme de fatigue cyclique ($p < 0,05$). Cependant, il n'y a pas de différence statistiquement significative entre la durée de vie en fatigue cyclique de One Curve® et de Hyflex CM® ($p > 0,05$).

4 Discussion

Notre étude compare la résistance à la fatigue cyclique d'instruments endodontiques NiTi de 3 marques différentes, à l'aide d'une machine de flexion rotative. Comme il n'y a aucune norme (ni ANSI/ADA, ni ISO) pour étudier cette résistance à la fatigue cyclique d'instruments endodontiques, nous avons choisi ce dispositif car il permet de contrôler les conditions aux limites. De plus, nous avons vérifié, pour chaque essai, que la zone de rupture ne se trouvait ni dans le tube, ni dans les mors. Nous avons également contrôlé la friction entre l'instrument et les parois du tube en acier inoxydable grâce à l'application d'un lubrifiant ; ainsi, la chaleur pouvant être générée lors de l'essai, était réduite à son minimum [4 ;5].

Les résultats de notre étude ont montré que le CM Hyflex ® et One Curve® avait une plus grande résistance à la fatigue que Protaper Next®. Ces résultats peuvent être principalement expliqués par la différence de section et de traitement thermique entre les 3 instruments.

En ce qui concerne la section, Cheung et al, (2011) ont observé que les instruments ayant un profil triangulaire montrent une plus grande résistance à la fatigue cyclique que ceux avec une section rectangulaire [6]. Cette différence est due, à diamètre identique, à la masse métallique réduite des instruments triangulaires comparée aux instruments rectangulaires [7].

Pour Vadhana et al, (2014), une section en S réduirait également la contrainte mécanique sur les parois canalaires, en raison de la surface de contact réduite entre l'instrument et le canal comparé à une section triangulaire [8]. Ces instruments en S montreraient donc une résistance à la fatigue cyclique augmentée.

Ceci peut expliquer pourquoi Hyflex CM® (de section triangulaire) et OneCurve® (section en triple hélice à la pointe puis en S vers le manche) affichent une meilleure résistance à la fatigue cyclique que Protaper Next® (de section rectangulaire).

Les meilleures réponses mécaniques du Hyflex CM® par rapport à celles de Protaper Next® pourraient aussi s'expliquer par le traitement thermo-mécanique de son alliage. Protaper Next® est un instrument M-Wire, austénitique avec de petites quantités de martensite et de R-phase à température corporelle [3 ;9 ;10]. Il apparaît plus flexible que les instruments en NiTi conventionnel [9 ;10].

Les instruments en CM-Wire sont un mélange d'austénite et de martensite avec de petites quantités de R-phase à température ambiante [11 ;12 ;13]. Cet alliage, contenant principalement de la martensite, semblerait avoir une plus grande flexibilité que les instruments M-Wire et NiTi conventionnels [14 ;15 ;16 ;17 ;18].

Il y a un manque d'informations sur l'alliage C-Wire constitutif du One Curve® dans la littérature, mais ce traitement thermique lui permet de rester martensitique à température ambiante, à l'instar du CM-Wire. Dans notre étude, nous avons constaté que le NCF du OneCurve® était meilleur que celui de Protaper Next®. Cela semble en accord avec la littérature, qui rapporte que les alliages martensitiques confèrent aux instruments une meilleure résistance à la fatigue cyclique, par rapport aux instruments austénitiques [1].

D'autres études ont examiné la résistance à la flexion rotative entre Protaper Next® et Hyflex CM® à 60 °. Dans l'étude de Capar et al (2015), Protaper Next®, Hyflex CM® et d'autres instruments en NiTi conventionnel ont été insérés dans un canal artificiel. Ces instruments ont été fléchi à 60° avec un angle de courbure de 3 mm. Le Hyflex CM® montre de manière significative une meilleure résistance à la fatigue cyclique [7]. De même, pour Pedulla et al (2014), la résistance à la fatigue cyclique de Protaper Next® et de Hyflex CM® est comparée avec et sans préchargement en torsion [19]. Ces

instruments ont été testés avec des conditions identiques aux nôtres (flexion à 60° et rayon de courbure de 5mm). Là encore, Hyflex CM® affiche une résistance à la fatigue cyclique plus importante que Protaper Next®, sans préchargement de torsion. Nos résultats sont donc tout à fait en accord avec ceux de la littérature.

5. Conclusion

Dans les conditions expérimentales de cette étude, on peut conclure que Hyflex CM® et One Curve® présentent une résistance à la fatigue cyclique nettement supérieure à celle du Protaper Next®. Cela s'explique par les différences de géométrie sectionnelle ainsi que par les traitements thermiques appliqués aux différents instruments. Nos résultats sont en accord avec la littérature.

Références

- [1] J. Zupanc, N. Vahdat-Pajouh, E. Schäfer. *New thermomechanically treated NiTi alloys – a review*. Int Endod J. 2018 Oct;51(10):1088-1103. doi: 10.1111/iej.12924. Epub 2018 Apr 19.
- [2] M. Serafin, M. De Biasi, V. Franco, D. Angerame. *In vitro comparison of cyclic fatigue resistance of two rotary single-file endodontic systems: OneCurve versus OneShape*. Odontology. 2019 Apr;107(2):196-201. doi: 10.1007/s10266-018-0390-1. Epub 2018 Sep 25.
- [3] S.B. Alapati, W.A. Brantley, M. Iijima et al. *Metallurgical characterization of a new nickel-titanium wire for rotary endodontic instruments*. J Endod. 2009; 35:1589–93.
- [4] A.M. Elnaghy. *Cyclic fatigue resistance of ProTaper Next nickel-titanium rotary files*. Int Endod J. 2014; 47 :1034–9.
- [5] H. Tobushi, T. Nakahara, Y. Shimeno, et al. *Low-cycle fatigue of Ni-Ti shape memory alloy and formulation of fatigue life*. J Eng Mater Technol. 2000; 122:186-91.
- [6] G.S. Cheung, E.W. Zhang, Y.F. Zheng. *A numerical method for predicting the bending fatigue life of NiTi and stainless steel root canal instruments*. Int Endod J. 2011; 44:357–61.
- [7] I.D. Capar, H. Ertas, H. Arslan. *Comparison of cyclic fatigue resistance of novel nickel-titanium rotary instruments*. Aust Endod J. 2015 Apr;41(1):24-8. doi: 10.1111/aej.12067. Epub 2014 Apr 2.
- [8] S. Vadhana, B. Saravana Karthikeyan, S. Nandini, N. Velmurugan. *Cyclic fatigue resistance of RaCe and Mtwo rotary files in continuous rotation and reciprocating motion*. J Endod. 2014 Jul; 40(7):995-9.
- [9] E.S. Pereira, I.F. Peixoto, A.C. Viana, et al. *Physical and mechanical properties of a thermomechanically treated NiTi wire used in the manufacture of rotary endodontic instruments*. Int Endod J. 2012; 45:469 – 74.
- [10] J. Ye, Y. Gao. *Metallurgical characterization of M-Wire nickel-titanium shape memory alloy used for endodontic rotary instruments during low-cycle fatigue*. J Endod. 2012; 38:105–7.

- [11] Y. Shen, H.M. Zhou, Y.F. Zheng, L. Campbell, B. Peng, M. Haapasalo. *Metallurgical characterization of controlled memory wire nickel-titanium rotary instruments*. J Endod. 2011; 37:1566–71.
- [12] Y. Shen, J.M. Coil, H. Zhou, Y. Zheng, M. Haapasalo. *HyFlex nickel-titanium rotary instruments after clinical use: metallurgical properties*. Int Endo J. 2013; 46:720–9.
- [13] F. Iacono, C. Pirani, L. Generali, et al. *Structural analysis of HyFlex EDM instruments*. Int Endod J. 2017 ; 50 :303–13.
- [14] L. Testarelli, G. Plotino, D. Al-Sudani, et al. *Bending properties of a new nickel-titanium alloy with a lower percent by weight of nickel*. J Endod. 2011 ; 37 :1293–5.
- [15] G. Pongione, G. Pompa, V. Milana et al. *Flexibility and resistance to cyclic fatigue of endodontic instruments made with different nickel-titanium alloys: a comparative test*. Annali Di Stomatologia (Roma). 2012; 3:119–22.
- [16] E.S. Pereira, A.C. Viana, V.T. Buono, O.A. Peters, M.G. Bahia. *Behavior of nickel-titanium instruments manufactured with different thermal treatments*. J Endod. 2015 Jan ;41(1) :67-71. doi: 10.1016/j.joen.2014.06.005. Epub 2014 Aug 8.
- [17] H.J. Goo, S.W. Kwak, J.H. Ha, E. Pedulla, H.C. Kim. *Mechanical properties of various heat-treated nickel-titanium rotary instruments*. J Endod. 2017 Nov;43(11):1872-1877. doi: 10.1016/j.joen.2017.05.025. Epub 2017 Sep 23.
- [18] R.G. Soares, H.P. Lopes, C.N. Elias, et al. *Comparative study of the mechanical properties of instruments made of conventional, M-wire, R-phase, and controlled memory nickel-titanium alloys*. ENDO – Endodontic Practice Today. 2017; 11:271–7.
- [19] E. Pedullà, F. Lo Savio, S. Boninelli, G. Plotino, N.M. Grande, E. Rapisarda, G. La Rosa. *Influence of cyclic torsional preloading on cyclic fatigue resistance of nickel-titanium instruments*. International Endodontic Journal. 2015; 48:1043-1050.