
THE USAGE OF FEA (FINITE ELEMENT ANALYSIS) IN SHAPING WITH ENDODONTIC INSTRUMENTS: REVIEW

Verica Toneva Stojmenova

University “Goce Delcev” Stip, R. N. Macedonia, verica.stojmenova@ugd.edu.mk

Ivona Kovacevska

University “Goce Delcev” Stip, R. N. Macedonia, ivona.kovacevska@ugd.edu.mk

Natasha Longurova

University “Goce Delcev” Stip, R. N. Macedonia, natasa.denkova@ugd.edu.mk

Lidija Popovska

University “Kiril and Merodi” Skopje, R. N. Macedonia, lidijapopovska@yahoo.com

Isni Redzeqi

Clinical center “S. Pantelejmon” Skopje, R. N. Macedonia, isnirexheqi@gmail.com

Sonja Rogoleva Gjuroski

University “Goce Delcev” Stip, R. N. Macedonia, sonja.rogoleva@ugd.edu.mk

Abstract: The performances of endodontic instruments are improving with the advancement of them. This advancement is because of the composition and material of which the endodontic instruments are made. Today, there are made Ni Ti instruments, to improve the metallurgical properties and to have better elasticity and flexibility than classic stainless still endodontic instruments. In addition, rotary and reciproc instruments are especially important, beside manual endodontic instruments. In order to function successfully, they need to have adequate torque. Finite Element Analysis is used for stress access in different areas. Today, the FEA is widely used in dentistry to detect the torque generation of rotary instruments. FEA can simulate the torque distribution and is an engineering method for numerical analysis. There are, several computer software programs, that works with FEA and they have 3D views of relevant data for analysis. The benefits of FEA are: precise modeling of instruments with all the characteristic design details and precise modeling of the complicated geometry of the anatomical-morphological characteristic of the teeth, including the root with the canal system, as well as coronary morphological characteristics. FEA can be used to show pressure transfer, to see the places of load as well as the places of tooth fracture and shows the places of instruments fracture. FEA, also, provides the opportunity for setting the torque in rotary and reciproc endodontic instruments. Torque is one of the parameters that shows the generation of stress during root canal shaping. Several studies have shown tooth cracks due to NiTi instruments shaping, depending of different speed and torque setting. Therefore, every time, a new endodontic instrument enters the dental market, research using multiple fields is required. At the same time, it is necessary to include as much as possible all the ways of research to complete the picture, to get more information about the endodontic instrument and to get the clear understanding of the way of working. As well as the advantages and disadvantages of using the endodontic instruments.

Keywords: FEA (Finite Element Analysis), endodontic instruments, torque.

КОРИСТЕЊЕТО НА FEA (FINITE ELEMENT ANALYSIS) ПРИ ОБРАБОТКА СО ЕНДОДОНТСКИТЕ ИНСТРУМЕНТИ: РЕВИЈАЛЕН ТРУД

Верица Тонева Стојменова

Универзитет „Гоце Делчев“ Штип, РС Македонија, verica.stojmenova@ugd.edu.mk

Ивона Ковачевска

Универзитет „Гоце Делчев“ Штип, РС Македонија, ivona.kovacevska@ugd.edu.mk

Наташа Лонгурова

Универзитет „Гоце Делчев“ Штип, РС Македонија, natasa.denkova@ugd.edu.mk

Лидија Поповска

Универзитет „Кирил и Методиј“ Скопје, РС Македонија, lidijapopovska@yahoo.com

Исни Речеви

Клинички центар „Св. Пантелејмон“ Скопје, РС Македонија isnirexheqi@gmail.com

Соња Роголева Ѓуроски

Универзитет „Гоце Делчев“ Штип, РС Македонија, sonja.rogoleva@ugd.edu.mk

Резиме: Со напредокот на ендодонтските инструменти, се подобруваат и перформансите на самите нив. Ова, пред сè, го диктира составот и материјалот од кој се изградени ендодонтските инструменти. За да се подобрат овие металуршките карактеристики, почнаа да се произведуваат инструменти изработени од NiTi, кои имаат подобра еластичност и флексибилност во однос на класичните челични инструменти. Покрај рачните NiTi инструменти, особено важни се и ротационите и реципрочните инструменти. За да може успешно да функционираат потребно е да имаат соодветен вртежен момент (torque). Finite Element Analysis (FEA) се користи за проценка на стрес во различни области. Денес, FEA, во голем размер, се користи и во стоматологијата, за да се согледа генерирањето на вртежниот момент на ротирачките инструменти. FEA симулационо може да прикаже стрес дистрибуција и е инжињерски метод за нумеричка анализа. Постојат повеќе компјутерски софтверски програми, кои на овој принцип преку FEA, визуелно и тродимензионално ги прикажуваат соодветните податоци за анализа. Придобивките од користењето на FEA се: прецизното моделирање на инструментите со сите карактеристични дизајнерски детали и прецизно моделирање на комплицираната геометрија на анатомото-мофолошките карактеристики на забите, вклучително и: коренот со каналниот систем, како и коронарните морфолошки карактеристики. Воедно, FEA, може да се искористи не само за стрес дистрибуција, туку и за пренос на притисок, за да се согледат местата на оптеретување како и местата на фрактура на заб, но ги прикажува и местата на фрактура на инструментите. FEA, дава можност и за точно прилагодување на вртежниот момент (torque), кај ротационите и реципрочни инструменти за ендодонтска обработка. Вртежниот момент е еден од параметрите кој покажува генерирање на стрес за време на корено-канална обработка. Повеќе студии покажуваат пукнатини на забот поради инструментација со ротационите NiTi инструменти во зависност од прилагодувањето на различна брзина и прилагодување на вртежниот момент. Затоа, при секое излегување на нов ендодонтски инструмент на пазарот, потребно е исцрпно и темелно истражување користејќи повеќе полиња. Воедно, потребно е што е можно повеќе да се вклучат сите начини на истражување за да се комплетира сликата, да се добијат повеќе информации за ендодонтскиот инструмент и да се добие јасно сознание за начинот на работа, како и предностите и недостатоците од користењето на тој ендодонтски инструмент.

Клучни зборови: FEA (Finite Element Analysis), ендодонтски инструменти, вртежен момент (torque).

1. ВОВЕД

Со напредокот на ендодонтските инструменти, се подобруваат и перформансите на самите нив. Ова, пред сè, го диктира составот и материјалот од кој се изградени ендодонтските инструменти. За да се подобрат овие металуршки карактеристики, почнаа да се произведуваат инструменти изработени од NiTi. Овие инструменти нудат подобра еластична флексибилност во свиткување и извртување во споредба со класичните инструменти изработени од нер'госувачки челик.^{(1), (2)} Сепак, кршењето на ендодонтските инструменти може да се случи во самата инструментација и претставува сериозен проблем. Неуспехот при работа со NiTi инструменти бил исцрпно и темелно истражуван. Замор при свиткување се дефинира при рекуретни, компресивни и затегнувачки напрегања кога инструментот се ротира и движи во правец нагоре надолу во кривиот канал. Торзионен неуспех и грешка се случува кога инструментот, најчесто врвот, се заглавува во каналот, а остатокот од инструментот продолжува да врти со што се произведува стрес надвор од крајната јачина на материјалот. Па така, скршениот инструмент влијае врз понатамошниот тек т.е. прогнозата на третман. Одредени рачни NiTi инструменти го избегнуваат овој момент на кршење бидејќи се пофлексибилни од инструментите кои се изградени од нер'госувачки челик.⁽³⁾ Дадени студии покажуваат дека ротационите инструменти се подобри од рачните во однос на способност на обликување и ефикасност. Користењето на ендомотор за овие ротациони инструменти бара услови на поголем вртежен момент (torque) и поголема ротациона брзина.

Иако, NiTi инструменти се сметаат дека се со големи достигнувања во металургијата во однос на флексибилност и отпорност на фрактура, сепак и тие се подложни на ниво на стрес и можност за неуспех како резултат на несоодветна употреба. Поради ова, животниот век на NiTi инструментите се скратува. Особено се важни: цикличниот замор и отпорноста на торзија, за да се согледат механичките карактеристики на Ni Ti инструментите. Воедно, важен е и вртежниот момент кај ротационите и реципрочни инструменти. Torque/ момент на сила/вртежен момент се дефинира како мерка за силата која е потребна за даден инструмент да ротира околу надолжната оска, односно како сила која е потребна за NiTi инструментот да ротира.⁽⁴⁾ При интеракцијата меѓу NiTi инструментите и сидовите на каналот за време на инструментацијата може да се формира концентрација на моментален стрес во дентинот.

Сите овие нагласени параметри кои се важни при користењето на ротационите и реципрочни ендодонтски инструменти, може да се истражат со програма на Finite Element Analysis (FEA).

Цел: на ова истражување е да се согледа примената и придобивките на FEA, а воедно да се согледа кои параметри може да се отсликаат и поистоветат со FEA.

2. МАТЕРИЈАЛИ И МЕТОДИ

Беше користено литературно пребарување преку електронската база на податоци: PubMed. Во полето за пребарување беа внесени клучните зборови. Добиените публикации од пребарувањето, беа подложни на инклузии и ексклузии критериуми, за точно и квалитетно да се дефинира бројот на разгледувани студии. Инклузии критериуми кои ги користевме за ова ревијално пребарување се: публикуваните студии да се напишани на англиски јазик и студии на кои им е достапен целиот текст за разгледување, да е review article. Ексклузионите критериуми се: студии кои се дупликати. На овој начин се ограничи и дефинира бројот на разгледувани студии.

3. КОРИСТЕЊЕ НА FINITE ELEMENT ANALYSIS ЗА ЕНДОДОНТСКА ИНСТРУМЕНТАЦИЈА

При користењето на NiTi инструменти се обликува коренскиот канал, но воедно се ослабнува коренот, се отстранува коренскиот дентин и се генерира стрес. Ова доведува до можност на појава на кршење на ендодонтскиот инструмент во близина на апикалниот дел.⁽⁵⁾ Па така, бидејќи е особено тешко да се испита овој стрес, кој што се создава во коренскиот канал, постојат различни пристапи со кои се истражува оваа проблематика. Таков пристап е програмата за FEA. FEA е метод за нумеричка анализа на распределбата и концентрација на стрес во зависност од материјалот и условите на оптоварување. Со неа, може да се прикаже симулационо и тродимензионално, што точно се случува во коренскиот канал и ја отсликува реалната состојба при ендодонтскиот третман, а воедно се исклучуваат субјективните услови кои може да влијаат врз резултатите и да дојде до настанување на грешка. Придобивките од користењето на FEA се: прецизното моделирање на инструментите со сите карактеристични детали на дизајн и прецизно моделирање на комплицираната геометрија на анатомо-мофолошките карактеристики на забите, вклучително и: коренот со каналниот систем, како и коронарните морфолошки карактеристики. Воедно, FEA, може да се искористи не само за стрес дистрибуција, туку и за пренос на притисок, за да се согледат местата на оптеретување како и местата на фрактура на заб. Особено важно е што ги прикажува и местата на фрактура на инструментите. FEA, дава можност и за точно прилагодување на вртежниот момент (torque), кај ротационите и реципрочни инструменти за ендодонтска обработка. Вртежниот момент е еден од параметрите кој покажува генерирање на стрес за време на корено-канална обработка. Повеќе студии покажуваат пукнатини на забот поради инструментација со ротационите NiTi инструменти во зависност од прилагодувањето на различна брзина и прилагодување на вртежниот момент. Врз резултатите од истражување со FEA влијаат и контактите кои се создаваат меѓу NiTi инструменти и коренскиот дентин, кои доведуваат до моментална концентрација на стрес во дентин.⁽⁶⁾ Важно е да се земе во предвид и периферниот стрес на истегнување, дебелината на резидуален дентин и морфологија на надворешен корен, кои индиректно ќе влијаат врз генерирањето на стрес.^{(7), (8)} NiTi инструменти се подложни на стрес за време на ендодонтскиот третман. Па затоа, FEA се користи за мерење и споредување на количината на стрес, кој се генерира во NiTi инструменти. Со FEA се добиваат и детални информации за местото на концентриран стрес на NiTi инструменти. Овој податок е особено битен, бидејќи местото на концентриран стрес е всушност и место најподложно за замор и тригер место за фрактура на NiTi инструментите. Некои студии докажале дека торзионата деформација и стресот при свиткување на NiTi инструменти се поврзани со надолжниот и напречниот дизајн на нив.^{(9), (10)} Други студии покажале дека термичката обработка исто така ја подобрува флексибилноста на NiTi инструменти и помага да се намали моментот на свиткување и максималното ниво на стрес.^{(11), (12)} Сепак тешко е да се докаже дали овој начин на 3D приказ на инструментите и коренскиот ендодонтски канал, може да ги земе сите пропратни и субјективни параметри при самата анализа.⁽¹³⁾ Постојат студии кај кои направената компјутеризирана томографија на заб, се искористива за да се пренесе во програмата со FEA.⁽¹⁴⁾ Ова испитување го направеле Monise de Paula RODRIGUES и сор. во кое со користење на FEA, имале цел да ја предвидат можноста за грешка и да ја избегнат. Истражувањето вклучувало симулационо приказ на молари кои биле искористени од КТ (cone-beam computed tomographic) пред и по спроведениот третман. Потоа биле подложни на цвакален притисок од антагонистите. Од истражувањето направено со FEA заклучиле дека, концентрацијата на стрес е со различен интензитет и локација во зависност од тоа дали станува збор за ендодонтски третирани заби или не. Односно, концентрацијата на стрес е поголема кај ендодонтски третирани заби. Во друго истражување направено од страна на W Jiang и соработниците, FEA го користат за да ја согледаат стрес дистрибуцијата кај заби со инлеј и онлеј. Ова истражување ги отсликува сите услови кај забот: ендодонтски третирани,

интактен, инлеј и онлеј од различен тип на материјал. По внесувањето на сите параметри поврзани со нив, се добиле резултати од кој инлеј и одлеј и кои услови имаат највисока резистентност на стрес.⁽¹⁵⁾

4. ЗАКЛУЧОК

Кога нов ендодонтски инструмент излегува на деналниот пазар, потребно е истрпно и темелно истражување користејќи повеќе полиња на истражување. Воедно, со вклучувањето на што е можно повеќе начини на истражување ќе се овозможат услови за да се комплетира сликата, да се добијат повеќе информации за ендодонтскиот инструмент и да се добие јасно сознание за начинот на работа, како и предностите и недостатоците од користењето на тој ендодонтскиот инструмент.^{(14), (15)} Клинички, генерирањето на вртежниот момент (torque), е под влијание на ригидноста на ендодонтскиот NiTi инструмент, но и на начинот на работа на субјективниот параметар-стоматолог. Затоа FEA, е добра за користење при испитување на карактеристиките на ендодонтскиот инструмент, бидејќи со внесување на сите параметри од инструментот во програмот со FEA, се добиваат резултати кои се објективни, тродимензионални и непристрасни и влијаат врз добивањето на мислење за дадениот инструмент.⁽¹⁶⁾ Со тоа, користејќи го програмот со FEA се избегнува најголемиот субјективен фактор, човекот. Денес, FEA како алатка за дизајнирање, претставува компјутерски приказ на геометријата на ендодонтските рачни, ротациони и реципрочни инструменти. На овој начин, се создаваат модели кои се со целосно параметризирани конечни елементи кои се издвојуваат директно инструментот или забот од нивниот дизајн и елементи.

КОРИСТЕНА ЛИТЕРАТУРА

- Ahamed, S.B.B., Vanajassun, P.P., Rajkumar, K., & Mahalaxmi, S. (2018). Evaluation of stress distribution in experimentally designed nickel-titanium rotary files with varying cross sections: A Finite Element Analysis. *J. Endod.* 44, 654–658. [CrossRef]
- Baek, S.H., Lee, C.J., Versluis, A., Kim, B.M., Lee, W., & Kim, H.C. (2011). Comparison of torsional stiffness of nickel-titanium rotary files with different geometric characteristics. *J. Endod.* 37, 1283–1286. [CrossRef]
- Berutti, E., Negro, A.R., Lendini, M., & Pasqualini, D. (2004). Influence of manual preflaring and torque on the failure rate of ProTaper rotary instruments. *J. Endod.* 30, 228–230. [CrossRef]
- Blum, J.Y., Machtou, P., Ruddle, C., & Micallef, J.P. (2003). Analysis of mechanical preparations in extracted teeth using ProTaper rotary instruments: Value of the safety quotient. *J. Endod.* 29, 567–575. [CrossRef]
- Chien, P.Y., Walsh, L.J., & Peters, O.A. (2021). Finite Element Analysis of rotary nickel-titanium endodontic instruments: A critical review of the methodology. *Eur. J. Oral Sci.* 129, e12802. [CrossRef]
- Htun, P.H., Ebihara, A., Maki, K., Kimura, S., Nishijo, M., Tokita, D., & Okiji, T. (2020). Comparison of torque, force generation and canal shaping ability between manual and nickel-titanium glide path instruments in rotary and optimum glide path motion. *Odontology* 108, 188–193. [CrossRef]
- International Organization for Standardization. ISO 3630-1. Dental Root-Canal Instruments: Files, Reamers, Barbed Broaches, Rasps, Paste Carriers, Explorers and Cotton Broaches; ISO: Geneva, Switzerland, 1992.
- Jiang, W., Bo, H., Yongchun, G., & LongXing, N. (2010). Stress distribution in molars restored with inlays or onlays with or without endodontic treatment: a three-dimensional finite element analysis. *J Prosthet Dent.* Jan;103(1):6-12. doi: 10.1016/S0022-3913(09)60206-7. PMID: 20105674.
- Kane, T.R., & Levinson, D.A. (1985). *Dynamics, Theory and Applications*; McGraw Hill: New York, NY, USA, pp. 90–99, ISBN 0070378460.
- Kim, H.C., Lee, M.H., Yum, J., Versluis, A., Lee, C.J., & Kim, B.M. (2010). Potential relationship between design of nickel-titanium rotary instruments and vertical root fracture. *J. Endod.* 36, 1195–1199. [CrossRef]
- Kim, H.C., Kim, H.J., Lee, C.J., Kim, B.M., Park, J.K., & Versluis, A. (2009). Mechanical response of nickel-titanium instruments with different cross-sectional designs during shaping of simulated curved canals. *Int. Endod. J.*, 42, 593–602. [CrossRef]
- Kwak, S.W., Abu-Tahun, I.H., Ha, J.H., & Kim, H.C. (2021). Torsional resistance of WaveOne Gold and Reciprocal Blue according to the loading methods. *J. Endod.* 47, 88–93. [CrossRef]
- Kwak, S.W., Shen, Y., Liu, H., Kim, H.C., & Haapasalo, M. (2022). Torque Generation of the Endodontic Instruments: A Narrative Review. *Materials (Basel)*. Jan 17;15(2):664. doi: 10.3390/ma15020664. PMID: 35057383; PMCID: PMC8778851.
- Kyaw, M.S., Ebihara, A., Kasuga, Y., Maki, K., Kimura, S., Htun, P.H., Nakatsukasa, T., & Okiji, T. (2021). Influence of rotational speed on torque/force generation and shaping ability during root canal instrumentation of extracted teeth with continuous rotation and optimum torque reverse motion. *Int Endod J. Sep;54(9):1614-1622.* doi: 10.1111/iej.13485. Epub 2021 Jul 12. PMID: 33527449.

- PradeepKumar, A.R., Shemesh, H., Archana, D., Versiani, M.A., Sousa-Neto, M.D., Leoni, G.B., Silva-Sousa, Y.T.C., & Kishen, A. (2019). Root canal preparation does not induce dentinal microcracks in vivo. *J. Endod.* 45, 1258–1264. [CrossRef]
- Prados-Privado, M., Rojo, R., Ivorra, C., & Prados-Frutos, J.C. (2019). Finite element analysis comparing WaveOne, WaveOne Gold, Reciproc and Reciproc Blue responses with bending and torsion tests. *J. Mech. Behav. Biomed. Mater.* 90, 165–172. [CrossRef] [PubMed]
- Rodrigues, M.P., Soares, P.B.F., Gomes, M.A.B., Pereira, R.A., Tantbirojn, D., Versluis, A., & Soares, C.J. (2020). Direct resin composite restoration of endodontically-treated permanent molars in adolescents: bite force and patient-specific finite element analysis. *J Appl Oral Sci.* 2020;28:e20190544. doi: 10.1590/1678-7757-2019-0544. Epub Apr 27. PMID: 32348440; PMCID: PMC7185981.
- Santos, L.D.A., Bahia, M.G., de Las Casas, E.B., & Buono, V.T. (2013). Comparison of the mechanical behavior between controlled memory and superelastic nickel-titanium files via finite element analysis. *J. Endod.* 39, 1444–1447. [CrossRef] [PubMed]
- Sathorn, C., Palamara, J.E., Palamara, D., & Messer, H.H. (2005). Effect of root canal size and external root surface morphology on fracture susceptibility and pattern: A finite element analysis. *J. Endod.* 31, 288–292. [CrossRef]
- Serway, R.A., & Jewett, J.W., Jr. (2003). *Physics for Scientists and Engineers*, 6th ed.; Brooks Cole: Pacific Grove, CA, USA.; ISBN 0-534-40842-7.
- Yared, G.M., Bou Dagher, F.E., & Machtou, P. (2001). Influence of rotational speed, torque and operator's proficiency on ProFile failures. *Int. Endod. J.*, 34, 47–53. [CrossRef]