

การเปรียบเทียบความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องที่ผลิตด้วยโลหะเอ็มไวร์และโลหะไฟร์ไวร์

วศินี แก้วอำไพ* ชินาลัย ปิยะชน*

วัตถุประสงค์: เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบระหว่างไฟล์ที่ผลิตด้วยโลหะเอ็มไวร์และโลหะไฟร์ไวร์

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ: ทำการศึกษาด้วยอุปกรณ์ทดสอบความล้าจากการหมุนรอบแบบคลองรากฟันจำลองที่ประดิษฐ์ขึ้นเอง ใช้ไฟล์ที่ผลิตด้วยโลหะเอ็มไวร์และโลหะไฟร์ไวร์ ขนาดเอ็กซ์ทูอย่างละ 15 ตัว ทำการบันทึกภาพเคลื่อนไหวการหมุนของไฟล์ภายในคลองรากฟันจำลองจนกระทั่งหัก บันทึกเวลาที่ไฟล์หมุนก่อนหัก เพื่อนำไปคูณกับความเร็วจนได้เป็นจำนวนรอบการหมุนก่อนหัก เปรียบเทียบข้อมูลด้วยการทดสอบที (Independent t-test) ที่ระดับนัยสำคัญน้อยกว่า 0.05 นำส่วนปลายของไฟล์ที่หักมาวัดความยาว และสำรวจพื้นผิวรอยหักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดเพื่อวิเคราะห์กลไกการหักที่เกิดขึ้น

ผลการศึกษา: ไฟล์ที่ผลิตด้วยโลหะไฟร์ไวร์มีจำนวนรอบการหมุนก่อนหักสูงกว่าไฟล์ที่ผลิตด้วยโลหะเอ็มไวร์อย่างมีนัยสำคัญ ส่วนของไฟล์ที่หักมีความยาวไม่แตกต่างกัน ($p > 0.05$) และภาพพื้นผิวรอยหักของไฟล์ทุกตัวแสดงการแตกหักในรูปแบบกลไกการหักด้วยความล้าจากการหมุนรอบ

สรุป: ภายใต้สถานการณ์ของการทดสอบนี้ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องที่ผลิตด้วยโลหะไฟร์ไวร์มีความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบสูงกว่าไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องที่ผลิตด้วยโลหะเอ็มไวร์ และคลองรากฟันจำลองที่ประดิษฐ์ขึ้นสามารถใช้ทดสอบความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องได้จริง

คำสำคัญ: ความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบ กระบวนการทางความร้อน ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียม

Comparison of Cyclic Fatigue Resistance of Nickel-Titanium Rotary Instruments Made of M-Wire and Fire-Wire

Wasinee Kaewumpai* Chinalai Piyachon*

Abstract

Objective: to compare the cyclic fatigue resistance of Nickel-titanium rotary instruments made of M-wire and Fire-wire.

Materials and methods: The cyclic fatigue testing of the instruments was performed in a newly invented artificial root canal. M-wire file and Fire-wire file, size X2, 15 samples of each group were tested. The motion of file rotation in an artificial canal was recorded until file separation was observed. The time of file rotation before the fracture was recorded and calculated by multiplication by the speed of rotation to get the number of cycles to failure (NCF). The data were analyzed statistically using an independent t-test at $p < 0.05$. The length of the fractured fragment was also recorded. A scanning electron microscope was used to characterize the topographic features of the fracture surfaces.

Results: Fire-wire file had a significantly higher number of cycles to failure than M-wire file. There were no significant differences ($p > 0.05$) found between groups for the length of the fracture parts. All fractured surfaces revealed typical features of cyclic fatigue fractures.

Conclusion: Under the condition of this study, Nickel-Titanium rotary Instruments made of Fire-Wire had more resistance to cyclic fatigue failure in comparison to Nickel-Titanium rotary Instruments made of M-wire. This invented artificial root canal can be actually used for cyclic fatigue testing of Nickel-Titanium rotary files.

Keywords: Cyclic fatigue resistance, Heat treatment, Nickel-Titanium rotary file

*Department of Conservative Dentistry and Prosthodontics, Faculty of Dentistry, Srinakharinwirot University, 114, Sukhumvit 23, Wattana, Bangkok 10110, Thailand.

บทนำ (Introduction)

การเตรียมคลองรากฟันในปัจจุบันนิยมใช้ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่อง ซึ่งพบว่า มีประสิทธิภาพดีและสามารถช่วยลดข้อผิดพลาดในการเตรียมคลองรากฟันโค้งได้ (1) อย่างไรก็ตามการใช้ไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องยังคงพบปัญหาที่อาจเกิดขึ้นได้ คือการหักของไฟล์ในคลองรากฟันที่เกิดจากความล้าจากการหมุนรอบ (cyclic fatigue failure) (2) ซึ่งส่งผลให้การเตรียมคลองรากฟันมีความซับซ้อนมากขึ้น บริษัทผู้ผลิตจึงพยายามพัฒนาสมบัติของไฟล์อย่างต่อเนื่อง เพื่อให้มีความสามารถในการต้านทานการแตกหักมากขึ้น โดยอาศัยการออกแบบรูปร่างหน้าตัดรูปแบบการหมุน และการปรับปรุงสมบัติของโลหะด้วยกระบวนการทางความร้อน (heat treatment) (3) จึงมีไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องระบบต่าง ๆ วางจำหน่ายมากขึ้น จากการศึกษาของ Elnaghy ในปี 2014 (4) เปรียบเทียบความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนที่แตกต่างกัน พบว่า ทวิสต์ไฟล์ (Twisted Files, SybronEndo, USA) มีความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบมากที่สุด รองลงมาคือโปรเทเปอร์เน็กซ์ (ProTaper Next, Dentsply Maillefer, Switzerland) ไฮฟลิกซ์ซีเอ็ม (HyFlex CM, Coltene-Whaledent, USA) และโปรเทเปอร์ยูนิเวอร์ซอล (ProTaper Universal, Dentsply Maillefer, Switzerland) ตามลำดับ เนื่องจากไฟล์ระบบทวิสต์ไฟล์ โปรเทเปอร์เน็กซ์ และไฮฟลิกซ์ซีเอ็ม เป็นไฟล์ที่ทำจากโลหะที่ผ่านกระบวนการทางความร้อน จึงมีความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบที่สูงกว่าไฟล์ระบบโปรเทเปอร์ยูนิเวอร์ซอลซึ่งผลิตจากโลหะนิกเกิลไทเทเนียมแบบดั้งเดิมที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการทางความร้อน นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการเปรียบเทียบความต้านทานการบิด (torsional resistance) และการสึกในการศึกษาของ Elnaghy และ Elsaka ในปี 2014 (5) ซึ่งพบว่าไฟล์ระบบโปรเทเปอร์เน็กซ์จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าไฟล์ระบบทวิสต์ไฟล์และเรซ (Race, FKG Dentaire SA, Switzerland) ดังนั้นไฟล์ระบบโปรเทเปอร์เน็กซ์จึงมี

คุณสมบัติที่เหมาะสมและเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน ซึ่งเป็นไฟล์ที่ผลิตด้วยกระบวนการทางความร้อนประเภทเอ็มไวร์

เมื่อไม่นานมานี้ได้มีการวางจำหน่ายไฟล์ที่ผลิตด้วยกระบวนการทางความร้อนรูปแบบใหม่ที่เรียกว่า ไฟร์ไวร์ ซึ่งทางผู้ผลิตระบุว่าโลหะนิกเกิลไทเทเนียมประเภทนี้จะมีความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบที่สูง (6) และได้ผลิตไฟล์ออกมาหลายระบบ จึงเป็นที่สนใจของทันตแพทย์แต่ยังไม่มีการศึกษาถึงสมบัติทางกลของโลหะประเภทนี้มากนัก ดังนั้นก่อนที่จะนำมาใช้งานทางคลินิกจึงควรที่จะทดสอบสมบัติทางกลโดยเฉพาะการทดสอบความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบซึ่งเกี่ยวข้องกับการหักของไฟล์ในคลองรากฟันโค้ง การศึกษาในครั้งนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบของไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องที่ผลิตด้วยกระบวนการทางความร้อนประเภทเอ็มไวร์และประเภทไฟร์ไวร์

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ (Materials and Methods)

1. การทดสอบความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบ

เตรียมไฟล์นิกเกิลไทเทเนียมชนิดหมุนด้วยเครื่องที่ผลิตจากโลหะเอ็มไวร์ระบบโปรเทเปอร์เน็กซ์ และโลหะไฟร์ไวร์ระบบเอ็ดจ์เทเปอร์เอ็นคอร์ (EdgeTaper Encore, EdgeEndo, USA) ขนาดเอ็กซ์ทู (X2; 25/0.06) ยาว 25 มิลลิเมตรที่ไม่ผ่านการใช้งานและไม่พบการชำรุดของพื้นผิวโลหะจากการสำรวจภายใต้กล้องจุลทรรศน์ทางทันตกรรม จำนวนอย่างละ 15 ตัว นำมาทดสอบความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบด้วยเครื่องทดสอบแบบคลองรากฟันจำลองที่ผลิตด้วยเหล็กกล้า (stainless steel) (รูปที่ 1) โดยมีลักษณะตามการศึกษาของ Grande และคณะ ในปี 2014 (7) มีมุมความโค้ง 60 องศาที่มีความโค้ง 5 มิลลิเมตร จุดกึ่งกลางส่วนโค้งห่างจากปลายคลองรากฟันจำลอง 6 มิลลิเมตร โดยคลองรากฟันจำลองมีความผายตามรูปร่างไฟล์ที่นำมาทดสอบและมีความยาว 25 มิลลิเมตร ในการ

ทดสอบไฟล์แต่ละตัวจะหมุนด้วยความเร็ว 300 รอบ ต่อนาทีด้วยเครื่องขยายคลองรากฟันไฟฟ้า (VDW. SILVER® RECIPROC®, VDW, Germany) ร่วมกับ น้ำมันหล่อลื่น (Super oil, Singer, USA) โดยทำการ

บันทึกภาพการหมุนของไฟล์จนกระทั่งหักด้วยกล้อง ถ่ายภาพเคลื่อนไหว บันทึกระยะเวลาที่ไฟล์หมุนก่อนหัก และนำระยะเวลาที่ไฟล์หมุนก่อนหักมาคูณด้วยความเร็ว รอบเพื่อคำนวณเป็นจำนวนรอบการหมุนก่อนหัก



รูปที่ 1 การทดสอบความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบในคลองรากฟันจำลองที่ประดิษฐ์ขึ้น

Fig 1. Cyclic fatigue resistance test in the invented artificial root canal.

ภายหลังการทดสอบทำการเก็บชิ้นส่วนของไฟล์ ที่หักทุกตัวเพื่อนำมาวัดระยะการหักของไฟล์ จากนั้น ทำความสะอาดชิ้นส่วนด้วยเครื่องล้างอัลตราโซนิค ร่วมกับแอลกอฮอล์เป็นเวลา 120 วินาที (8,9) เพื่อ กำจัดสิ่งปนเปื้อนที่ปกคลุมผิวโลหะ ก่อนนำไปสำรวจ พื้นผิวรอยหักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่อง กราด (scanning electron microscope; SEM JEOL JSM-6510LV, Tokyo, Japan) เพื่อยืนยันกลไกการหัก ที่เกิดขึ้น โดยใช้กำลังขยาย 2,000 เท่าและ 2,500 เท่า (10,11)

2. การรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูล

วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป SPSS (SPSS/PC Version 25, IBM, USA) ทดสอบ การกระจายของข้อมูลด้วยการทดสอบชาปิโร-วิลค์ (Shapiro-Wilk test) และเปรียบเทียบจำนวนรอบการ หมุนก่อนหักด้วยการทดสอบที (Independent t-test) ที่ระดับนัยสำคัญน้อยกว่า 0.05

ผลการทดลอง (Results)

การทดสอบความต้านทานความล้าจากการหมุน รอบของไฟล์ที่ผลิตจากโลหะเอ็มไวร์และโลหะไฟร์ไวร์ พบว่า ค่าเฉลี่ยจำนวนรอบการหมุนก่อนหักของไฟล์ทั้ง 2 กลุ่มมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยจำนวนรอบการหมุนก่อนหักของไฟล์ที่ ผลิตจากโลหะไฟร์ไวร์ มีค่าสูงกว่าไฟล์ที่ผลิตจากโลหะ เอ็มไวร์ประมาณ 3 เท่า (ตารางที่ 1) ส่วนระยะการหัก ของไฟล์ทั้ง 2 กลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทางสถิติ ($p > 0.05$)

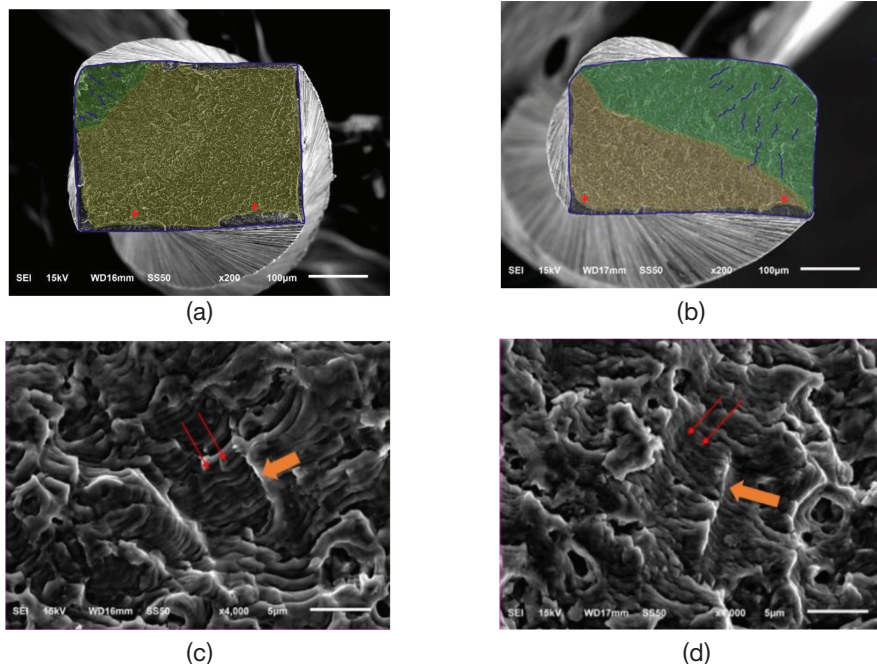
ตารางที่ 1 ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานความยาวส่วนปลายของไฟล์ที่หัก ระยะเวลาที่ไฟล์หมุนก่อนหัก และจำนวนรอบการหมุนก่อนหัก

Table 1. mean values (\pm standard deviation) for the length of fractured fragment, time to fracture and number of cycles to failure.

	The length of fractured fragment (mm.)	Time to fracture (s)	Number of cycles to failure (rounds)
M-wire group (n = 15)	4.66 \pm 0.42	102.49 \pm 7.69	512.45 \pm 38.47
Fire-wire group (n = 15)	4.60 \pm 0.56	360.52 \pm 104.97	1802.60 \pm 524.84
P-value	0.74	< 0.001	< 0.001

จากการสำรวจพื้นผิวไฟล์ที่หักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด พบว่าไฟล์ที่ผลิตจากโลหะเอ็มไวร์และโลหะไฟร์ไวร์ทุกตัว ปรากฏลักษณะพื้นผิวแบบริ้วขนาน (striation pattern) (รูปที่ 2c, 2d; ลูกศรสีแดง) ซึ่งแสดงถึงการเกิดความล้าจากการหมุนรอบจากภาพกำลังขยายสูงพบว่าแนวริ้วขนานนี้เรียงตัว

ตั้งฉากกับทิศทางการขยายตัวของรอยร้าว (รูปที่ 2c, 2d; ลูกศรสีส้ม) โดยอยู่ใกล้กับจุดเริ่มต้นรอยร้าวที่มุมของคมตัด และรอยร้าวได้ขยายเข้าหาส่วนกลางของเนื้อโลหะบริเวณถัดจากริ้วขนานนี้จะปรากฏเป็นรอยนูนขนาดเล็ก (dimple) จนถึงปลายขอบของหน้าตัดอีกฝั่ง ซึ่งแสดงถึงการขาดออกจากกันของโลหะอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2 พื้นผิวหน้าตัดรอยหักของไฟล์ภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราด (a) โลหะเอ็มไวร์ (b) โลหะไฟร์ไวร์ แสดงพื้นที่ที่เสียหายจากการล้า (พื้นที่สีเขียว) และพื้นที่รับแรงเกินพิกัด (พื้นที่สีเหลือง) และ (c) โลหะเอ็มไวร์ (d) โลหะไฟร์ไวร์แสดงลักษณะริ้วขนาน (ลูกศรสีแดง) อยู่ในแนวตั้งฉากกับรอยร้าว (ลูกศรสีส้ม)

Fig 2. Scanning electron micrographs of the fracture surface, (a) M-wire and (b) Fire-wire showed the fatigue zone (green area) and overload zone (yellow area). Both (c) M-wire and (d) Fire-wire showed the fatigue striations (red arrows) that were perpendicular to the crack lines (orange arrows)

บทวิจารณ์ (Discussion)

การทดสอบความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบในคลองรากฟันจำลอง ทำให้ไฟล์ที่ทำการทดสอบมีแนวการโค้งตัวและตำแหน่งที่เกิดความล้าจากการหมุนรอบใกล้เคียงกัน (12) อุปกรณ์ทดสอบความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบที่ประดิษฐ์ขึ้นนี้ ออกแบบคลองรากฟันจำลองตามการศึกษาของ Grande และคณะ ปี 2006 (7) ผลการทดสอบพบว่ากลุ่มของไฟล์ที่ผลิตจากโลหะเอ็มไวร์และโลหะไฟร์ไวร์มีระยะการหักที่ไม่แตกต่างกันแสดงว่าขณะทดสอบไฟล์ทั้ง 2 กลุ่มได้เกิดความเค้นสูงสุดในตำแหน่งเดียวกัน ขนาดหน้าตัดของไฟล์ที่รับความเค้นสูงสุดจึงใกล้เคียงกัน และเมื่อพิจารณาพื้นผิวรอยหักภายใต้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดพบว่าไฟล์ทุกตัวที่ทำการทดสอบปรากฏลักษณะของริ้วขนานที่เป็นผลจากโลหะได้รับความล้าจากการหมุนรอบแสดงให้เห็นว่าอุปกรณ์ทดสอบที่ประดิษฐ์ขึ้นมานี้สามารถทำให้ไฟล์หักจากกลไกความล้าจากการหมุนรอบได้จริงการทดสอบทำในอุณหภูมิห้องปกติและใช้น้ำมันหล่อลื่นเพื่อลดแรงเสียดทานที่จะเกิดขึ้นขณะไฟล์หมุนในคลองรากฟันจำลอง จึงไม่มีผลของอุณหภูมิที่อาจสูงขึ้นจนเกิดการเปลี่ยนวัฏภาคของโลหะ

การหักของไฟล์เริ่มต้นจากรอยร้าวที่เกิดขึ้นบริเวณผิวโลหะ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่มีความเค้นสะสมสูงสุด (13) หรืออาจมีจุดบกพร่องที่เกิดจากกระบวนการผลิต (14,15) ขณะที่ไฟล์กำลังหมุนในคลองรากฟันโค้งอย่างต่อเนื่อง ผิวโลหะที่อยู่ในช่วงความโค้งจะได้รับแรงบีบอัดและแรงดึงในทุกรอบของการหมุน ทำให้รอยร้าวที่เกิดขึ้นสามารถขยายตัวเข้ามาในเนื้อโลหะได้ลึกมากขึ้น ช่วงที่เกิดแรงดึงนั้นส่วนปลายของรอยร้าวจะถูกเปิดออกเนื้อโลหะที่อยู่รอบปลายรอยร้าวจะเกิดการเลื่อนไถลและช่วงที่มีแรงบีบอัด รอยร้าวจะชิดเข้าหากันและเนื้อโลหะบริเวณนั้นจะมีการเลื่อนไถลในทิศทางตรงกันข้ามจึงปรากฏเป็นลักษณะริ้วขนานเกิดขึ้น (16) ซึ่งเกิดจากการขยายตัวของรอยร้าวโดยมีการเรียงตัวอยู่ในแนวตั้งฉากกับทิศทางของการขยายตัวของรอยร้าว ดังภาพจาก

กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนชนิดส่องกราดกำลังขยายสูง (รูปที่ 2c, 2d) รอยร้าวดังกล่าวจะขยายตัวอย่างช้า ๆ ทำให้เนื้อโลหะค่อย ๆ แยกออกจากกัน เมื่อสังเกตจากภาพกำลังขยายต่ำ พบว่าผิวรอยหักบริเวณนี้จะมีพื้นผิวเรียบ เรียกบริเวณนี้ว่า พื้นที่ที่เสียหายจากการล้า (fatigue zone) ส่วนบริเวณถัดมาผิวหน้าตัดจะมีลักษณะขรุขระ ที่ประกอบด้วยรอยรุ่มขนาดเล็กไปจนถึงขอบอีกฝั่งของหน้าตัด โดยเกิดภายหลังจากที่เนื้อโลหะเริ่มแยกออกจากกัน ทำให้พื้นที่หน้าตัดที่เหลืออยู่ไม่สามารถทนรับแรงดึงได้ จึงเกิดการฉีกขาดออกจากกันอย่างรวดเร็ว ลักษณะพื้นผิวในบริเวณนี้เรียกว่า พื้นที่รับแรงเกินพิกัด (overload zone) (17,18) (รูปที่ 2a, 2b) นอกจากรอยร้าวจะเกิดที่ตำแหน่งมุมคมตัดแล้ว จะสังเกตเห็นได้ว่าขอบของหน้าตัดบางด้านมีรอยร้าวเกิดขึ้นหลายตำแหน่ง (รูปที่ 2a, 2b; เครื่องหมายดอกจันสีแดง) ซึ่งมีความเป็นไปได้ว่าอาจเกิดจากกระบวนการผลิตไฟล์ด้วยการกลึงจนเกิดร่องลึกบนผิวไฟล์ (7,15)

เนื่องจากกระบวนการผลิตที่มีการให้ความร้อนแก่โลหะทั้งก่อนหรือหลังการกลึงต่างมีผลต่อการจัดเรียงโครงสร้างและวัฏภาคของโลหะ กระบวนการทางความร้อนนี้สามารถปรับปรุงให้โลหะมีความยืดหยุ่นที่ดีขึ้น (18,19) ลดพลังงานความเครียดภายในโลหะ (internal strain energy) (20) รวมถึงลดอัตราการเกิดและอัตราการขยายตัวของรอยร้าวได้จากการจัดเรียงโครงสร้างใหม่ ซึ่งจะช่วยเพิ่มความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบให้มากขึ้น (21,22) โลหะเอ็มไวร์เป็นโลหะที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนก่อนการกลึงผิว (23) มีอุณหภูมิสิ้นสุดออสเทนไนต์ (austenite finish) ประมาณ 43-50 องศาเซลเซียส (22) เป็นกลุ่มโลหะวัฏภาคผสม มีวัฏภาคส่วนใหญ่เป็นออสเทนไนต์ (austenite phase) ซึ่งมีวัฏภาคมาร์เทนไซต์ (martensite phase) และอาร์เฟส (R-phase) เป็นส่วนประกอบ โลหะเอ็มไวร์มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำ จึงทำให้ไฟล์ที่ผลิตจากโลหะชนิดนี้มีความยืดหยุ่นและสามารถต้านทานความล้าได้มากกว่านิกเกิลไทเทเนียมแบบดั้งเดิม ในขณะที่ความแข็งของโลหะไม่แตกต่างกัน (24)

สำหรับโลหะประเภทไฟร์ไวร์เป็นโลหะที่ผ่านกระบวนการทางความร้อนรูปแบบใหม่ ซึ่งปัจจุบันยังไม่มี การเผยแพร่ข้อมูลเกี่ยวกับกระบวนการทางความร้อนประเภทนี้ จึงยังไม่ทราบโครงสร้างและวิฤภาคของโลหะที่แน่ชัด โลหะประเภทไฟร์ไวร์เป็นโลหะนิกเกิลไทเทเนียมที่มีสัดส่วนนิกเกิลอยู่ระดับต่ำ คือมีนิกเกิลร้อยละ 48 ไทเทเนียมร้อยละ 38 และสารประกอบออกไซด์ร้อยละ 14 (18) โลหะไฟร์ไวร์มีการเปลี่ยนแปลงวิฤภาค 2 ช่วง เมื่ออยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิลดลงโลหะจะเกิดการเปลี่ยนจากวิฤภาคออสเทนไนต์เป็นอาร์เฟสที่อุณหภูมิช่วง 35-15 องศาเซลเซียส และเปลี่ยนจากวิฤภาคอาร์เฟสเป็นมาร์เทนไซต์ที่อุณหภูมิ -33 ถึง -47 องศาเซลเซียส หากอยู่ในสภาวะที่อุณหภูมิเพิ่มขึ้นโลหะจะมีการเปลี่ยนวิฤภาคจากมาร์เทนไซต์เป็นออสเทนไนต์ที่อุณหภูมิช่วงประมาณ 26-35 องศาเซลเซียส จึงทำให้เมื่ออุณหภูมิลดลงถึงระดับอุณหภูมิจากโลหะไฟร์ไวร์จะมีวิฤภาคผสมระหว่างอาร์เฟสและออสเทนไนต์ หรือหากอุณหภูมิเพิ่มขึ้นมาจนถึงอุณหภูมิห้อง โลหะจะมีวิฤภาคมาร์เทนไซต์เป็นส่วนประกอบ (25) นอกจากนี้ การศึกษาทางโลหะวิทยาของ Nasr และ Saber ปี 2014 (18) พบว่าโลหะไฟร์ไวร์มีส่วนประกอบของผลึกวิฤภาคมาร์เทนไซต์เช่นเดียวกับโลหะซีเอ็มไวร์ ทั้งนี้การมีวิฤภาคมาร์เทนไซต์เป็นส่วนประกอบจะช่วยให้โลหะมีความต้านทานการเกิดและการขยายตัวของรอยร้าวที่ดีกว่า เนื่องจากการจัดเรียงอะตอมของวิฤภาคมาร์เทนไซต์เป็นโครงสร้างแบบโมโนคลินิก (monoclinic crystal structure) ที่มีความสมมาตรน้อยกว่าวิฤภาคออสเทนไนต์ที่เป็นคิวบิก (cubic crystal structure) จึงสามารถต้านทานการขยายตัวของรอยร้าวได้ (17,21)

มีการศึกษาที่ทำการเปรียบเทียบความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบของไฟล์ที่ผลิตจากโลหะไฟร์ไวร์กับไฟล์ประเภทต่าง ๆ ที่ไม่ได้ผลิตจากโลหะไฟร์ไวร์การศึกษาของ Gambarini และคณะ ปี 2019 (26) พบว่าไฟล์ระบบเอ็ดจ์ไฟร์ (EdgeOne Fire, EdgeEndo, USA) ที่ผลิตจากโลหะไฟร์ไวร์มีความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบสูงกว่าไฟล์ระบบเวฟวันโกลด์ (WaveOne Gold, Dentsply Maillefer,

Switzerland) ที่ผลิตจากโลหะประเภทโกลด์ไวร์ Khalil และคณะ ปี 2019 (27) พบว่าไฟล์ระบบเอ็ดจ์ไฟล์เอ็กซ์ทรี (EdgeFile X3, EdgeEndo, USA) มีความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบสูงกว่าไฟล์ระบบวันเคิร์ฟ (One Curve, Micro-Mega, France) ที่เป็นโลหะประเภทซีไวร์ Tanomaru-Filho และคณะ ปี 2018 (9) พบว่าไฟล์ระบบเอ็ดจ์ไฟล์มีความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบสูงกว่าไฟล์ระบบเอ็มทู (MTwo, VDW, Germany) ที่ผลิตด้วยโลหะนิกเกิลไทเทเนียมแบบดั้งเดิม แต่น้อยกว่าไฟล์ระบบไฮเฟล็กซ์ซีเอ็ม และระบบโปรดีไซน์เอส (ProDesign S, Easy Dental Equipment, Brazil) ที่ผลิตจากโลหะประเภทซีเอ็มไวร์ ทั้งนี้หากเปรียบเทียบในสภาวะที่อุณหภูมิที่แตกต่างกัน Topcuoglu และคณะปี 2020 (28) พบว่าในคลองรากคိုင်รูปตัวเอสไฟล์ระบบเอ็ดจ์ไฟล์มีความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบมากกว่า ไฟล์ระบบไฮเฟล็กซ์ซีเอ็มวันเคิร์ฟ และโพเทเปอร์เน็กซ์ ทั้งในอุณหภูมิห้องและอุณหภูมิภายในคลองรากฟัน เช่นเดียวกับการศึกษาของ Dosanjh และคณะ (29) พบว่าไฟล์ระบบเอ็ดจ์ไฟล์จะมีความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบสูงกว่าไฟล์ระบบวอร์เท็กซ์บลู (Vortex Blue, Dentsply Tulsa, Dental Specialties, USA) และระบบเอ็นโดซีควินซ์ไฟล์ (EndoSequence, Brasseler, USA) ทุกระดับอุณหภูมิที่ทดสอบ โดยมีความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิลดลงจาก 60, 37 และ 22 องศาเซลเซียส ตามลำดับ เนื่องจากอุณหภูมิลดลงทำให้โลหะไฟร์ไวร์มีส่วนประกอบของวิฤภาคมาร์เทนไซต์มากขึ้น จากผลการศึกษาที่กล่าวมาแสดงให้เห็นว่าไฟล์ที่ผลิตจากโลหะไฟร์ไวร์มีสมบัติความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบที่โดดเด่นเมื่อเทียบกับโลหะประเภทอื่น สอดคล้องกับผลการศึกษาในครั้งนี้ซึ่งเป็นไปตามที่บริษัทได้ระบุไว้ (6)

อย่างไรก็ตามการศึกษาของ Scott และคณะปี 2019(23)พบว่าผลการทดสอบความต้านทานความล้าจากการหมุนรอบของไฟล์ระบบเอ็ดจ์ไฟล์เอ็กซ์ทรีที่ผลิตจากโลหะไฟร์ไวร์นั้นให้ค่าความเชื่อมั่น (reliability) ของผลการทดสอบน้อยกว่าไฟล์ระบบเวฟวัน (Wave

One, Densply Maillefer, Switzerland) และเวฟวัน โกลด์ที่ผลิตจากโลหะเอ็มไวร์และโกลด์ไวร์ตามลำดับ โดยอาจเป็นผลมาจากการผลิตที่ทำให้เกิดจุดบกพร่อง บนผิวโลหะหรือจากเนื้อโลหะโพรวอร์นจากนั้น การศึกษาของ Arias และคณะ ปี 2019 (25) ได้ สันนิษฐานไว้ว่า อาจเนื่องจากช่วงอุณหภูมิขณะทดสอบ โลหะโพรวอร์จะอยู่ในช่วงที่เกิดการเปลี่ยนวัฏภาคและ เกิดการดุดกคลื่นพลังงานอย่างมาก

การทดสอบความต้านทานความล้าจากการหมุน รอบของการศึกษานี้ เป็นข้อมูลที่แสดงถึงสมบัติทางกล ของโลหะเอ็มไวร์และโลหะโพรวอร์ สามารถช่วยในการ ตัดสินใจเพื่อเลือกใช้ไฟล์สำหรับการเตรียมคลอง รากฟันได้ โดยเฉพาะคลองรากฟันโค้งที่อาจเกิดการหัก ของไฟล์เนื่องจากความล้าจากการหมุนรอบ การศึกษา ต่อไปอาจศึกษาเพื่อทดสอบสมบัติทางกลด้านอื่น ๆ เช่น การทดสอบความต้านทานแรงบิด ความสามารถในการตัด และความยืดหยุ่น ซึ่งสามารถทำการเปรียบเทียบกับ ไฟล์ระบบอื่นที่นิยมใช้อยู่ในปัจจุบัน

บทสรุป (Conclusion)

จากการทดสอบความต้านทานความล้าจากการ หมุนรอบในคลองรากฟันจำลองของอุปกรณ์ทดสอบพบว่า ไฟล์ที่ผลิตจากโลหะโพรวอร์มีจำนวนรอบการหมุนก่อน หักมากกว่าไฟล์ที่ผลิตจากโลหะเอ็มไวร์ประมาณ 3 เท่า

กิตติกรรมประกาศ (Acknowledgement)

งานวิจัยชิ้นนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากเงินงบประมาณ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ ประจำปีงบประมาณ 2564

ขอขอบพระคุณนายโมษิต วงศ์ปิ่นแก้ว และ นางสาวศิริวรรณ อ่วมปาน วิศวกรประจำศูนย์เทคโนโลยี โลหะและวัสดุแห่งชาติ (เอ็มเทค) สำนักงานพัฒนา วิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (สวทช.) ที่มอบ ความรู้และให้ความช่วยเหลือในการวิเคราะห์ภาพ ซึ่่งงานในการศึกษาครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง (References)

1. Bergmans L, Van Cleynenbreugel J, Wevers M, Lambrechts P. Mechanical root canal preparation with NiTi rotary instruments: rationale, performance and safety. Status report for the American Journal of Dentistry. Am J Dent. 2001; 14(5):324-33.
2. Sattapan B, Nervo GJ, Palamara JE, Messer HH. Defects in rotary nickel-titanium files after clinical use. J Endod. 2000;26(3):161-5.
3. Gavini G, Santos Md, Caldeira CL, Machado MEdL, Freire LG, Iglecias EF, et al. Nickel titanium instruments in endodontics: a concise review of the state of the art. Braz Oral Res. 2018;32.
4. Elnaghy AM. Cyclic fatigue resistance of ProTaper Next nickel-titanium rotary files. Int Endod J. 2014;47(11):1034-9.
5. Elnaghy AM, Elsaka SE. Assessment of the mechanical properties of ProTaper Next Nickel-titanium rotary files. J Endod. 2014;40(11): 1830-4.
6. Fire-Wire EEHT. Encore Performance. Enormous Profit [internet] 2019 Available from: URL: <https://web.edgeendo.com/edgetaperencore/>.
7. Grande NM, Plotino G, Pecci R, Bedini R, Malagnino VA, Somma F. Cyclic fatigue resistance and three-dimensional analysis of instruments from two nickel-titanium rotary systems. Int Endod J. 2006;39(10):755-63.
8. Cho O-I, Versluis A, Cheung GS, Ha J-H, Hur B, Kim H-C. Cyclic fatigue resistance tests of nickel-titanium rotary files using simulated canal and weight loading conditions. Restor Dent Endod. 2013;38(1):31-5.

9. Tanomaru-Filho M, Galletti Espir C, Carolina Venção A, Macedo-Serrano N, Camilo-Pinto J, Guerreiro-Tanomaru J. Cyclic fatigue resistance of heat-treated nickel-titanium instruments. *Iran Endod J.* 2018;13(3):312-7.
10. Cheung GSP. Instrument fracture: mechanisms, removal of fragments, and clinical outcomes. *Endod Topics.* 2007;16(1):1-26.
11. Alapati SB, Brantley WA, Svec TA, Powers JM, Nusstein JM, Daehn GS. SEM observations of nickel-titanium rotary endodontic instruments that fractured during clinical use. *J Endod.* 2005;31(1):40-3.
12. Plotino G, Grande NM, Mazza C, Petrovic R, Testarelli L, Gambarini G. Influence of size and taper of artificial canals on the trajectory of NiTi rotary instruments in cyclic fatigue studies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod.* 2010;109(1):e60-e6.
13. Lee M-H, Versluis A, Kim B-M, Lee C-J, Hur B, Kim H-C. Correlation between experimental cyclic fatigue resistance and numerical stress analysis for nickel-titanium rotary files. *J Endod.* 2011;37(8):1152-7.
14. Kuhn G, Tavernier B, Jordan L. Influence of structure on nickel-titanium endodontic instruments failure. *J Endod.* 2001;27(8):516-20.
15. Pirani C, Cirulli PP, Chersoni S, Micele L, Ruggeri O, Prati C. Cyclic fatigue testing and metallographic analysis of nickel-titanium rotary instruments. *J Endod.* 2011;37(7):1013-6.
16. Gross TS, Lampman S. *Fatigue and Fracture: ASM International [Internet]* 1996 Available from: URL: <https://doi.org/10.31399/asm.hb.v19.9781627081931>.
17. Gao Y, Shotton V, Wilkinson K, Phillips G, Johnson WB. Effects of raw material and rotational speed on the cyclic fatigue of ProFile Vortex rotary instruments. *J Endod.* 2010;36(7):1205-9.
18. Abou El Nasr HM, Saber SM. Metallurgical and mechanical properties of nickel titanium instruments made of Fire-Wire, controlled memory wire, M-Wire, and conventional super-elastic wires. *Egypt Dent J.* 2014;60.
19. Plotino G, Testarelli L, Al-Sudani D, Pongione G, Grande NM, Gambarini G. Fatigue resistance of rotary instruments manufactured using different nickel-titanium alloys: a comparative study. *Odontology.* 2014;102(1):31-5.
20. Srivastava S. Current strategies in metallurgical advances of rotary NiTi instruments: A Review. *J Dent Health Oral Disord Ther.* 2018; 9(1):72-7.
21. McKelvey AL, Ritchie RO. Fatigue-crack growth behavior in the superelastic and shape-memory alloy nitinol. *Metall Mater Trans A Phys Metall Mater Sci.* 2001;32(3):731-43.
22. Zupanc J, Vahdat-Pajouh N, Schäfer E. New thermomechanically treated NiTi alloys – a review. *Int Endod J.* 2018;51(10):1088-103.
23. Scott R, Arias A, Macorra JC, Govindjee S, Peters OA. Resistance to cyclic fatigue of reciprocating instruments determined at body temperature and phase transformation analysis. *Aust Endod J.* 2019;45(3):400-6.
24. 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):469-74.

25. Arias A, Hejlawy S, Murphy S, de la Macorra JC, Govindjee S, Peters OA. Variable impact by ambient temperature on fatigue resistance of heat-treated nickel titanium instruments. Clin Oral Investig. 2019;23(3):1101-8.

26. Gambarini G, Galli M, Di Nardo D, Seracchiani M, Donfrancesco O, Testarelli L. Differences in cyclic fatigue lifespan between two different heat treated NiTi endodontic rotary instruments: WaveOne Gold vs EdgeOne Fire. J Clin Exp Dent. 2019;11:e609-e13.

27. Khalil WA. Effect of heat treatment on cyclic fatigue, flexibility and shape transformation of two controlled memory NiTi rotary instrument. Egypt Dent J. 2019;65(Issue 2 - April (Fixed Prosthodontics, Dental Materials, Conservative Dentistry & Endodontics)):1463-8.

28. Topcuoglu HS, Topcuoglu G, Kafdag O, Balkaya H. Effect of two different temperatures on resistance to cyclic fatigue of One Curve, EdgeFile, HyFlex CM and ProTaper next files. Aust Endod J. 2020;46(1):68-72.

29. Dosanjh A, Paurazas S, Askar M. The effect of temperature on cyclic fatigue of nickel-titanium rotary endodontic instruments. J Endod. 2017;43(5):823-6.

ติดต่อบทความ:

ผศ.ทพญ.ชินาลัย ปิยะชน

ภาควิชาทันตกรรมอนุรักษ์และทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

เลขที่ 114 ถนนสุขุมวิท 23 แขวงคลองเตยเหนือ

เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110

โทรศัพท์: 02 649 5000 ต่อ 15112

อีเมล: chinalai@g.swu.ac.th

Corresponding author:

Asst.Prof.Chinalai Piyachon

Department of Conservative Dentistry and
Prosthodontics, Faculty of Dentistry,

Srinakharinwirot University, Sukhumwit 23,
Wattana, Bangkok 10110, Thailand.

Tel: +66 2 649 5212 ext. 15112

E-mail: chinalai@g.swu.ac.th

Received Date: Aug 23, 2021

Revised Date: Sep 13, 2021

Accepted Date: Dec 16, 2021