



บทความวิชาการ

Original Article

ขนาดแรงคืนกลับของลวดโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม ชนิดยืดหยุ่นยิ่งยวด ที่ถูกกระตุ้นโดยวิธีให้ความร้อน จากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง

ศรราวดี กัลยาณภาคย์¹ ท.บ.วัชรระ เพชรคุปต์² ท.บ., Dip. in Ortho. (Bergen), อ.ท. (ทันตกรรมจัดฟัน)จินตนา ศิริชุมพันธ์² ท.บ., ท.ม. (ทันตกรรมจัดฟัน), อ.ท. (ทันตกรรมจัดฟัน)¹ นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย² ภาควิชาทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาขนาดแรงคืนกลับของลวดโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม ชนิดยืดหยุ่นยิ่งยวด ที่ถูกกระตุ้นโดยวิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง และเพื่อเปรียบเทียบขนาดแรงคืนกลับของลวดโลหะผสมดังกล่าว กับลวดโลหะผสมยี่ห้อเดียวกันที่ไม่ได้รับการกระตุ้น

วัสดุและวิธีการ ส่วนปลายของลวดโค้งขึ้นรูปสำเร็จ หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว² จำนวน 2 ยี่ห้อคือ ยี่ห้อเซนต์ทอลลอย ชนิดเฮฟวี ของบริษัทโทมิ และยี่ห้อไนไท ของบริษัทออมโก ความยาว 21.5 มิลลิเมตร ทำการทดสอบความงอสามจุด เพื่อศึกษาขนาดแรงคืนกลับ ที่ 4 ระยะการคืนกลับ คือ 2.0, 1.5, 1.0 และ 0.5 มิลลิเมตร และกระตุ้นโดยวิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง โดยใช้กระแสไฟฟ้าในระดับที่เหมาะสมสำหรับการดัดลวด เป็นเวลา 3, 4 หรือ 5 วินาที และได้อ้างอิงถึงค่าอุณหภูมิทางทฤษฎี ที่ได้จากการคำนวณตามกฎอนุรักษ์พลังงาน

ผลการศึกษา เมื่อวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว ที่ระดับนัยสำคัญ .05 พบว่า ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงคืนกลับของลวดโลหะผสม ที่ถูกกระตุ้นโดยวิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อเปรียบเทียบกับลวดยี่ห้อเดียวกันที่ไม่ได้รับการกระตุ้นนั้น มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในทุกระยะการคืนกลับ

สรุป ขนาดแรงคืนกลับของลวดโลหะผสม ที่ถูกกระตุ้นโดยวิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง มีค่ามากกว่าของลวดยี่ห้อเดียวกันที่ไม่ได้รับการกระตุ้น และขนาดแรงคืนกลับแปรผันตามค่าอุณหภูมิทางทฤษฎีที่ได้จากการคำนวณตามกฎอนุรักษ์พลังงาน ในช่วง 421.4 ถึง 520.5 องศาเซลเซียส

(ว ทันต จุฬฯ 2548;28:19-28)

คำสำคัญ: การทดสอบความงอสามจุด; แรงคืนกลับ; ลวดโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม ชนิดยืดหยุ่นยิ่งยวด; วิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง

บทนำ

ลวดโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม ชนิดยืดหยุ่นยิ่งยวด (superelastic nickel titanium alloy wire) เป็นลวดทางทันตกรรมจัดฟันชนิดหนึ่ง ที่มีโลหะนิกเกิลและโลหะไทเทเนียมเป็นองค์ประกอบหลัก มีคุณสมบัติเฉพาะคือคุณสมบัติยืดหยุ่นยิ่งยวด¹⁻⁸ ซึ่งหมายถึง การที่ลวดสามารถให้แรงในปริมาณน้อยและเกือบคงที่อย่างต่อเนื่องในขณะที่คืนกลับสู่รูปร่างเดิม (deactivation) หลังจากถูกทำให้เปลี่ยนรูปร่างไป ซึ่งเทียบได้กับแรงที่ลวดกระทำทำให้ฟันเคลื่อนที่ตามการคืนกลับของลวด เนื่องจากเป็นลวดที่มีความสามารถในการคืนกลับสูง (high springback) จึงได้รับความนิยมอย่างมากในทางทันตกรรมจัดฟัน การแสดงคุณสมบัติยืดหยุ่นยิ่งยวด เกิดจากการเปลี่ยนวิภาค (phase transformation) ของโลหะ⁹⁻¹¹ ซึ่งแบ่งได้ 2 วิภาคตามโครงสร้างโมเลกุลคือ วิภาคออสเทนไนต์ (austenitic phase) และวิภาคมาร์เทนไซต์ (martensitic phase) ซึ่งจะมีคุณสมบัติเชิงกลแตกต่างกัน วิภาคออสเทนไนต์มีเสถียรภาพที่อุณหภูมิสูง มีลักษณะแข็งและคงรูปได้ดี ตรงข้ามกับวิภาคมาร์เทนไซต์ ซึ่งมีเสถียรภาพที่อุณหภูมิต่ำ มีลักษณะนิ่มและถูกเปลี่ยนรูปร่างได้ง่าย โลหะทั้งสองวิภาคสามารถผันกลับได้ (reversible) ด้วยวิธีปราศจากการแพร่ (diffusionless transformation)^{11,12} คุณสมบัติยืดหยุ่นยิ่งยวดของลวดโลหะผสมดังกล่าว เป็นผลจากการเปลี่ยนแปลงสู่วิภาคมาร์เทนไซต์โดยอาศัยความเค้น และการเปลี่ยนกลับสู่วิภาคออสเทนไนต์ได้เมื่อความเค้นหรือแรงกระทำถูกปลดปล่อย¹²⁻¹⁶

ลวดโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม ชนิดยืดหยุ่นยิ่งยวด แม้จะมีคุณสมบัติที่ดีดังกล่าวข้างต้น แต่มีข้อจำกัดในการใช้งานทางคลินิก คือ ดัดหรือทำให้เปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวร (permanent deformation) ได้ยาก จึงถูกผลิตในรูปของลวดโค้งขึ้นรูปสำเร็จ (preformed archwire) อย่างไรก็ตาม ในการปฏิบัติงานทางคลินิกบางกรณีจำเป็นต้องดัดหรือปรับเปลี่ยนรูปร่างลวด เพื่อให้เหมาะสมกับผู้ป่วยแต่ละราย ซึ่งหากต้องการดัดด้วยแรงปกติที่ไม่เกินขีดจำกัดการเปลี่ยนรูปแบบอิลาสติก จำเป็นต้องอาศัยปัจจัยการเปลี่ยนอุณหภูมิเพื่อปรับรูปแบบการเรียงตัวของโมเลกุลภายใน ให้สามารถงอรูปร่างใหม่ได้อย่างถาวร

Miura และคณะ¹⁷ ได้คิดค้นเครื่องมือที่ให้พลังงานความร้อน โดยอาศัยคุณสมบัติความต้านทานกระแสไฟฟ้าของโลหะที่เป็นองค์ประกอบภายในของเส้นลวด หรือเรียกว่าวิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง (direct electric

resistance heat treatment method) เพื่อให้สามารถดัดหรือปรับเปลี่ยนรูปร่างลวดได้อย่างถาวรตามต้องการขณะใช้งานทางคลินิก โดยระดับกระแสไฟฟ้าจะสัมพันธ์กับเวลาที่ให้กระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวด กล่าวคือ ถ้าใช้ระดับกระแสไฟฟ้าสูง จะให้เวลาที่กระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดน้อย แต่ถ้าใช้ระดับกระแสไฟฟ้าต่ำ จะให้เวลาที่กระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดนานขึ้น

จากกฎอนุรักษ์พลังงาน (Law of Energy Conservation)¹⁸ ที่ว่า พลังงานไม่มีการสูญหาย แต่สามารถเปลี่ยนแปลงจากรูปแบบหนึ่งไปอีกรูปแบบหนึ่งได้นั้น การให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง จะเปลี่ยนแปลงพลังงานไฟฟ้าเป็นพลังงานความร้อน ซึ่งคำนวณได้จากสูตร ดังนี้

$$T = Tr + (1.85 \times 10^{-13}) tI^2$$

เมื่อ T คือ อุณหภูมิที่เกิดขึ้นภายในเส้นลวด (องศาเซลเซียส)

Tr คือ อุณหภูมิห้อง (องศาเซลเซียส)

I คือ กระแสไฟฟ้า (แอมแปร์)

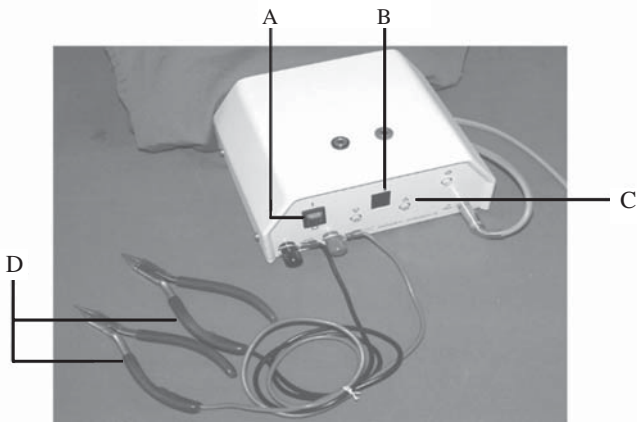
t คือ เวลา (วินาที)

คณะผู้วิจัยได้ตั้งสมมติฐานว่าลวดโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม ชนิดยืดหยุ่นยิ่งยวด ณ บริเวณที่ได้รับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการดัดลวดนั้น มีขนาดแรงคืนกลับต่างจากลวดยี่ห้อเดียวกันที่ไม่ได้รับกระแสไฟฟ้า จึงได้เลือกศึกษาในลวดโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม ชนิดยืดหยุ่นยิ่งยวด ซึ่งแสดงวิภาคออสเทนไนต์ที่อุณหภูมิห้อง¹⁹ ได้แก่ ยี่ห้อ เซนทอลลอย ชนิดเฮฟวี (Sentalloy Heavy) ของบริษัทโทมี (Tomy) และยี่ห้อไนไท (NiTi) ของบริษัทออร์มโก (Ormco) ที่มีช่วงอุณหภูมิของการเปลี่ยนวิภาคเท่ากับ 9-22 และ 5-16 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

วัสดุและวิธีการ

จากการที่งานวิจัยนี้ต้องการศึกษาขนาดแรงคืนกลับของลวดเซนทอลลอย ชนิดเฮฟวี และลวดไนไท ที่ถูกกระตุ้นโดยวิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง ซึ่งอยู่ในระดับที่เหมาะสมสำหรับการดัดลวดนั้น จึงจำเป็นต้องทราบระดับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมดังกล่าวก่อน วิธีการวิจัยจึงได้แบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การศึกษาระดับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการดัดลวด โดยวิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง



รูปที่ 1 เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เบนเดอร์โซเรอร์-ทู (บริษัท โทมี ประเทศญี่ปุ่น) ซึ่งประกอบด้วยปุ่มเปิด-ปิด (A); หน้าจอแสดงระดับกระแสไฟฟ้า หมายเลข 1 ถึง 9 (B); ปุ่มปรับระดับกระแสไฟฟ้า (C); และคีมปากนกจำนวน 2 เล่ม (D)

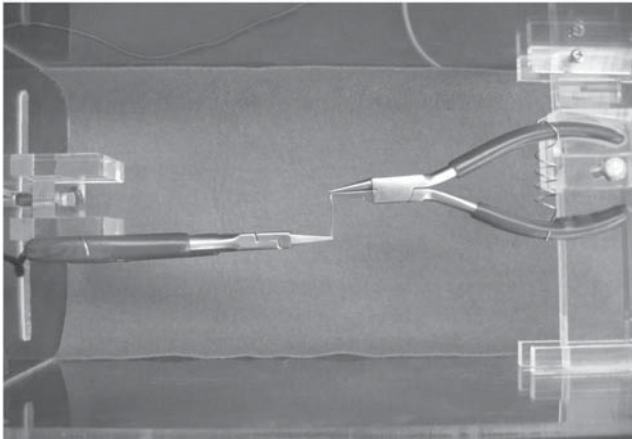
Fig. 1 Direct electric current machine: Bender Soarer-II (Tomy Co. Ltd., Japan) comprising On-Off switch (A); electric current level monitor: No.1-9 (B); current level adjustment switch (C); and two bird-beak pliers (D)

เตรียมส่วนปลายของลวดเซนทอลลอย ชนิดเฮฟวี และลวดไนไท ประเภทลวดโค้งขึ้นรูปสำเร็จ หน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้าขนาด 0.016 x 0.022 นิ้ว² สำหรับขากรรไกรล่าง ความยาว 25 มิลลิเมตร (มม.) ยี่ห้อละ 90 เส้น ใช้เครื่องกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรงเบนเดอร์โซเรอร์-ทู (รูปที่ 1) ซึ่งแสดงระดับกระแสไฟฟ้าหมายเลข 1 ถึง 9 หรือมีปริมาณกระแสไฟฟ้าแท้จริง จากการวัดด้วยแอมมิเตอร์ของบริษัท Daiichi รุ่น DM209 ค่าอุณหภูมิทางทฤษฎีที่ได้จากการคำนวณตามกฎอนุรักษ์พลังงานเมื่อกำหนดให้อุณหภูมิห้องมีค่าเท่ากับ 25 องศาเซลเซียส ดังแสดงไว้ในตารางที่ 1 เส้นลวดที่ศึกษาจะได้รับกระแสไฟฟ้าจากเครื่องเบนเดอร์โซเรอร์-ทู โดยผ่านคีมปากนก (bird beak pliers) 2 อัน ซึ่งจับลวดจากปลายด้านซ้ายและขวา โดยขอบด้านในของคีมห่างจากปลายลวด 4.5 และ 1 มม. ตามลำดับ ทำให้ได้ระยะห่างระหว่างคีมเท่ากับ 19.5 มม. ยึดเส้นลวดและคีมทั้งสองอันที่จับลวดดังกล่าวกับเครื่องมือช่วยตัดลวดเป็น

ตารางที่ 1 แสดงปริมาณกระแสไฟฟ้าแท้จริง และค่าอุณหภูมิทางทฤษฎีที่ได้จากการคำนวณตามกฎอนุรักษ์พลังงานของลวดโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม ชนิดยืดหยุ่นยิ่งยวด เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าในระดับที่แตกต่างกัน เป็นเวลา 3, 4 และ 5 วินาที

Table 1 The real electric currents and theoretical temperature calculated by the use of the Law of Energy Conservation of superelastic nickel-titanium alloy wire after an application of the different levels of electric currents in 3, 4 or 5 seconds

Electric current (level)	Real electric current (ampere)	Theoretical temperature (°C)		
		3 seconds	4 seconds	5 seconds
1	2.59	97.4	121.5	145.6
2	3.89	188.2	242.6	297.0
3	5.25	322.3	421.4	520.5
4	6.57	490.6	645.8	801.0
5	7.90	698.2	922.6	1,147.0
6	9.36	970.0	1,285.0	1,600.0
7	10.65	1,248.5	1,656.3	2,064.1
8	11.90	1,552.5	2,061.7	2,570.8
9	13.15	1,890.3	2,512.0	3,133.8



รูปที่ 2 เครื่องมือสำหรับการดัดลวดให้เป็นมุมฉาก

Fig. 2 The machine for perpendicularity bending of a wire

มุมฉาก (รูปที่ 2) ต่อเครื่องควบคุมกระแสไฟฟ้าแบบจับเวลาที่สามารถตั้งเวลาทำงานเป็นวินาทีได้ตั้งแต่ 1 ถึง 10 วินาที โดยตั้งเวลาที่ 3 วินาที เพื่อควบคุมการทำงานของเครื่องเบนเดอริโซเรอร์-ทู และตั้งระดับกระแสไฟฟ้าที่หมายเลข 1 นำเส้นลวดที่ได้รับกระแสไฟฟ้าแล้ว มาวัดมุมตามขอบด้านในด้วยไม้บรรทัดวัดมุม (Ruler protractor) ยี่ห้อ HOL ประเทศไต้หวันที่สามารถอ่านค่าได้ละเอียด 0.5 องศา การวัดมุมกระทำโดยผู้วิจัยเพียงคนเดียว ที่ได้ฝึกฝนจนมีความน่าเชื่อถือทางสถิติ ซึ่งความแม่นยำ (precision) ในการวัดค่ามุมซ้ำในลวดเส้นเดิม จากการวิเคราะห์สหสัมพันธ์แบบเพียร์สัน (Pearson correlation) ได้ค่าสัมประสิทธิ์ (r) เท่ากับ 0.0998 และทำการทดสอบทีสำหรับกลุ่มตัวอย่างสองกลุ่มที่สัมพันธ์กัน (paired-sample T test) ได้ค่า p -value เท่ากับ .066 ทำซ้ำโดยเปลี่ยนลวดเส้นใหม่ทุกครั้งจนครบ 10 เส้น จากนั้นเปลี่ยนระดับกระแสไฟฟ้าเป็นหมายเลข 2 ถึง 9 และปรับตั้งเวลาเป็น 4 หรือ 5 วินาทีตามลำดับ ทำจนครบในลวดเซนต์ออลลอย ชนิดเฮฟวี และลวดไนไท

ระดับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการดัดลวดนั้น เลือกจากระดับกระแสไฟฟ้าน้อยที่สุด ซึ่งทำให้ค่ามุมที่วัดได้จากขอบในของเส้นลวด ภายหลังการดัดเป็นมุมฉากและให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง มีค่าใกล้เคียง 90 องศา มากที่สุด โดยเส้นลวดไม่เกิดลักษณะร้อนแดงขณะได้รับกระแสไฟฟ้า ซึ่งแสดงว่าลวดได้รับความร้อนที่มากเกินไปสำหรับการใช้งานในทางคลินิก²⁰ เมื่อให้กระแสไฟฟ้าแก่ลวดเซนต์ออลลอย ชนิดเฮฟวี และลวดไนไท เป็นเวลา 3, 4 หรือ

5 วินาที ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตเครื่องมือกำเนิดไฟฟ้ากระแสตรง เพื่อเป็นข้อมูลในการเลือกระดับกระแสไฟฟ้าสำหรับการวิจัยขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาขนาดแรงคืนกลับของลวดโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม ชนิดยืดหยุ่นยิ่งยวด ที่ถูกกระตุ้นโดยวิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม

เตรียมลวดเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 1 โดยมีความยาว 21.5 มม. ยี่ห้อละ 30 เส้น แล้วให้กระแสไฟฟ้าแก่เส้นลวด โดยตั้งระดับกระแสไฟฟ้าจากเครื่องเบนเดอริโซเรอร์-ทู ตามผลการศึกษาที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 และตั้งเวลาเป็น 3, 4 หรือ 5 วินาทีตามลำดับ จากนั้นทำซ้ำโดยเปลี่ยนลวดเส้นใหม่ทุกครั้งจนครบ 10 เส้น แล้วกำหนดจุดบนเส้นลวดที่ต้องการศึกษาขนาดแรงคืนกลับ ได้แก่ ลวดที่ไม่ได้รับกระแสไฟฟ้า ลวดที่ได้รับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมเป็นเวลา 3, 4 หรือ 5 วินาที ทั้งสองยี่ห้อ การศึกษาขนาดแรงคืนกลับของลวด กระทำโดยนำเส้นลวดที่ต้องการศึกษาวางในร่องแบริกเกตสองตัว ที่ถูกยึดบนแบบจำลองโลหะ โดยให้จุดกึ่งกลางแบริกเกตห่างจากปลายลวดทั้งสองข้าง 3.5 มม. แล้วยึดลวดกับแบริกเกตด้วยยางวงแหวนรัดฟัน ซึ่งกระทำโดยผู้วิจัยเพียงคนเดียว ที่ได้ฝึกฝนการควบคุมขนาดแรงที่ใช้สำหรับใส่ยางวงแหวนดังกล่าว ให้มีขนาดใกล้เคียงกัน ทุกครั้ง ภายใต้การดูแลของทันตแพทย์จัดฟันที่มีประสบการณ์กว่า 20 ปี จากนั้นทดสอบขนาดแรงคืนกลับด้วยเครื่องลอยด์-ยูนิเวอร์แซลเทสติงมาชีน (LLOYD Universal Testing Machine) รุ่น LR 10K ที่ใช้ตุ้มน้ำหนักขนาด 100 นิวตัน และหัวกดลวดหน้าตัดรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ขนาด 2.5 x 3 มม.² โดยปรับหัวกดลวดให้ด้านที่มีความกว้าง 3 มม. ซึ่งเทียบได้กับขนาดความกว้างของแบริกเกตฟันกรามน้อยล่าง 1 ซี่ ที่จะกดลงบนเส้นลวดตรงจุดกึ่งกลางระหว่างแบริกเกตทั้งสอง และกำหนดให้ครอสเฮด (crosshead) เคลื่อนที่ในแนวตั้งด้วยความเร็ว 0.5 มม.ต่อนาที ในทิศทางลงและขึ้น เพื่อให้ลวดเปลี่ยนมิติไปจากเดิมและคืนกลับสู่รูปร่างเดิมในแนวตั้ง ที่ระยะไกลสุด 2 มม.²¹ บันทึกผลเป็นขนาดแรงที่ระยะการคืนกลับ 2.0, 1.5, 1.0 และ 0.5 มม. จากนั้นใส่ลวดเส้นใหม่ที่ต้องการทดสอบจนครบในลวดทั้งสองยี่ห้อ โดยยางวงแหวนสำหรับยึดลวดกับแบริกเกตจะถูกเปลี่ยนใหม่ทุกครั้ง ในการทดสอบลวดแต่ละเส้น หาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาด

แรงคืนกลับของลวดทั้งสองยี่ห้อ ที่ถูกกระตุ้นโดยวิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม เป็นเวลา 3, 4 หรือ 5 วินาที ที่ระยะการคืนกลับ 4 ระยะ ได้แก่ 2.0, 1.5, 1.0 หรือ 0.5 มม. จากนั้นทดสอบความแตกต่างของค่าเฉลี่ยของขนาดแรงคืนกลับระหว่างลวดที่ไม่ได้รับกระแสไฟฟ้า กับลวดที่ยี่ห้อเดียวกันแต่ได้รับกระแสไฟฟ้าในระดับที่เหมาะสม เป็นเวลา 3, 4 หรือ 5 วินาที ในแต่ละระยะการคืนกลับ โดยใช้สถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ .05 และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มหรือการทดสอบ

แบบจับคู่พหุคูณ (Multiple Comparison Tests) ด้วยสถิติบอนเฟอโรนี (Bonferroni) และสถิติแทมเฮน (Tamhane) เมื่อความแปรปรวนระหว่างกลุ่มมีค่าเท่ากันและไม่เท่ากันตามลำดับ

ผลการศึกษา

ขั้นตอนที่ 1 ผลการศึกษาระดับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม ค่าเฉลี่ยของมุมที่วัดได้จากขอบในของเส้นลวดภายหลังการตัดเป็นมุมฉากของลวดเซนต์อลลอย ซินดีเฮฟวี และลวดไนไท ได้แสดงไว้ในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงระดับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม และค่าเฉลี่ยของมุมที่วัดได้จากขอบในของลวดเซนต์อลลอย ซินดีเฮฟวี (S) และลวดไนไท (N) และการจัดแบ่งกลุ่มตัวอย่าง

Table 2 The optimum electric current level and mean of angle measured from the inner border of Sentalloy Heavy (S) and NiTi (N) and divided sample groups.

Types of wire	Stimulated time (second)	Optimum electric current level	Mean of angle (degree)	Sample group
S	0	0	0	1
	3	4	122.15	2
	4	3	124.00	3
	5	3	120.00	4
N	0	0	0	1
	3	4	121.00	2
	4	3	123.50	3
	5	3	119.50	4

ขั้นตอนที่ 2 การศึกษาค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดแรงคืนกลับ ของลวดเซนต์อลลอย ซินดีเฮฟวี จำนวน 4 กลุ่ม ในระยะการคืนกลับ 4 ระยะนั้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 และ 4 โดยพบว่า

- ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงคืนกลับของลวด ที่ไม่ได้รับและได้รับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม มีค่าแตกต่างกันในทุกระยะการคืนกลับ ยกเว้นกลุ่มที่ 1 กับกลุ่มที่ 3 ณ ระยะการคืนกลับ 2.0 มม.

- ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงคืนกลับของลวด ที่ถูกกระตุ้นโดยวิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง ที่เวลาแตกต่างกัน มีค่าแตกต่างกันในทุกระยะการคืนกลับ ยกเว้นกลุ่มที่ 2 กับกลุ่มที่ 3 ณ ระยะการคืนกลับ 1.0 และ 0.5 มม. กลุ่มที่ 3 กับกลุ่มที่ 4 ณ ระยะการคืนกลับ 0.5 มม. ส่วนกลุ่มที่ 2 กับกลุ่มที่ 4 ไม่มีความแตกต่างกันในทุกระยะการคืนกลับ

ตารางที่ 3 แสดงค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดแรงคืนกลับ (นิวตัน) ของลวดเซนต์ออลลอย ชนิดเฮฟวี (S) และลวดไนไท (N) ในระยะการคืนกลับ 4 ระยะ

Table 3 Mean and standard deviation of deactivation force (newton) of Sentalloy Heavy (S) and NiTi (N) at 4 deactivation distances

Types of wire	Sample group	Mean of deactivation force (M) and standard deviation (SD) at 4 deactivation distances							
		2.0 mm		1.5 mm		1.0 mm		0.5 mm	
		M	SD	M	SD	M	SD	M	SD
S	1	12.467	0.344	4.765	0.170	4.764	0.156	4.407	0.204
	2	13.666	0.370	6.102	0.426	6.062	0.360	5.278	0.216
	3	12.977	0.591	5.628	0.482	5.595	0.447	5.065	0.424
	4	13.726	0.475	6.374	0.179	6.312	0.194	5.366	0.376
N	1	15.400	0.393	5.765	0.088	5.488	0.173	5.275	0.183
	2	16.130	0.281	6.802	0.257	6.200	0.464	5.968	0.435
	3	15.941	0.350	6.483	0.432	5.898	0.535	5.674	0.748
	4	16.137	0.282	6.888	0.162	6.257	0.457	6.000	0.557

ตารางที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อน ของค่าเฉลี่ยของขนาดแรงคืนกลับของลวดเซนต์ออลลอย ชนิดเฮฟวี ด้วยสถิติบอนเฟอโรนี ที่ระยะการคืนกลับ 2.0, 1.5 และ 0.5 มิลลิเมตร และด้วยสถิติแทมเฮน ที่ระยะการคืนกลับ 1.0 มิลลิเมตร

Table 4 The Multiple Comparisons of mean of the deactivation force of Sentalloy Heavy by Bonferroni test at 2.0, 1.5 and 0.5 mm deactivation distance and by Tamhane test at 1.0 mm deactivation distance

Comparison between sample groups		<i>p</i> -value at 4 deactivation distances			
		2.0 mm	1.5 mm	1.0 mm	0.5 mm
1	2	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
1	3	0.102	0.000*	0.001*	0.000*
1	4	0.000*	0.000*	0.000*	0.000*
2	3	0.010*	0.024*	0.112	0.872
2	4	1.000	0.515	0.369	1.000
3	4	0.005*	0.000*	0.003*	0.255*

* Statistically significant difference at $p < .05$

ค่าเฉลี่ยและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของขนาดแรงคืนกลับของลวดไนไท จำนวน 4 กลุ่ม ในระยะการคืนกลับ 4 ระยะนั้น ได้แสดงไว้ในตารางที่ 3 และ 5 โดยพบว่า

- ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงคืนกลับของลวด ที่ไม่ได้รับและ

ได้รับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม มีค่าแตกต่างกันในทุกระยะการคืนกลับ ยกเว้นกลุ่มที่ 1 กับกลุ่มที่ 3 ณ ระยะการคืนกลับ 1.0 และ 0.5 มม.

- ค่าเฉลี่ยของขนาดแรงคืนกลับของลวด ที่ถูกกระตุ้น

ตารางที่ 5 แสดงการเปรียบเทียบเชิงซ้อน ของค่าเฉลี่ยของขนาดแรงคืนกลับของลวดไนไท ด้วยสถิติบอนเฟอรอนี ที่ระยะการคืนกลับ 2.0, 1.0 และ 0.5 มิลลิเมตร และด้วยสถิติแทมเฮน ที่ระยะการคืนกลับ 1.5 มิลลิเมตร

Table 5 The Multiple Comparisons of mean of the deactivation force of NiTi by Bonferroni test at 2.0, 1.0 or 0.5 mm deactivation distance and by Tamhane test at 1.5 mm deactivation distance

Comparison between sample groups		p-value at 4 deactivation distances			
		2.0 mm	1.5 mm	1.0 mm	0.5 mm
1	2	0.000*	0.000*	0.004*	0.032*
1	3	0.005*	0.008*	0.240	0.580
1	4	0.000*	0.000*	0.002*	0.022*
2	3	1.000	0.083	0.751	1.000
2	4	1.000	0.946	1.000	1.000
3	4	1.000	0.022*	0.421	1.000

* Statistically significant difference at $p < .05$

โดยวิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรงที่เวลาแตกต่างกัน มีค่าไม่แตกต่างกันเลยในทุกระยะการคืนกลับ ยกเว้นกลุ่มที่ 3 กับกลุ่มที่ 4 ณ ระยะการคืนกลับ 1.5 มม.

วิจารณ์

ผลการวิจัยนี้ ซึ่งพบว่าระดับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมสำหรับการตัดลวด มีความสัมพันธ์กับเวลาที่ลวดได้รับกระแสไฟฟ้านั้น สอดคล้องกับผลการศึกษาของ Miura และคณะ¹⁷ กล่าวคือ ถ้าเวลาที่ให้กระแสไฟฟ้าผ่านเส้นลวดน้อย จะต้องใช้ระดับกระแสไฟฟ้าสูง แต่ถ้าเวลาที่ให้กระแสไฟฟ้านานขึ้น จะใช้ระดับกระแสไฟฟ้าต่ำลง คือ ณ เวลา 3 และ 4 วินาทีนั้น ระดับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสมจะเป็นหมายเลข 4 และ 3 ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม ณ เวลา 4 และ 5 วินาทีนั้น ระดับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม คือหมายเลข 3 เท่ากัน ซึ่งอาจเกิดเนื่องจากข้อจำกัดของเครื่องเบนเดอโรเซอร์-ทู ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ที่ได้กำหนดระดับกระแสไฟฟ้าสำหรับใช้งานเป็นหมายเลข 1 ถึง 9 เท่านั้น ดังนั้น ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่แท้จริงของแต่ละหมายเลขจึงได้ถูกกำหนดไว้แล้วโดยบริษัทผู้ผลิต และทำให้ไม่สามารถปรับเปลี่ยนได้เองตามต้องการ เป็นผลให้ค่ามุมที่วัดได้จากขอบในของเส้นลวดภายหลังการตัดเป็นมุมฉาก ณ เวลา 4 และ 5 วินาที แตกต่างกัน แม้จะใช้ระดับกระแสไฟฟ้าหมายเลข 3 เท่ากันก็ตาม กล่าวคือ ณ เวลา 5 วินาที ค่ามุม

ที่วัดได้จากขอบในของเส้นลวด มีค่าใกล้เคียงกับ 90 องศา มากกว่าที่เวลา 4 วินาที ทั้งนี้เนื่องจากความแตกต่างของพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้น ซึ่งมีผลต่อความสามารถในการเปลี่ยนรูปแบบการเรียงตัวของโมเลกุลภายในของลวดโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม

เมื่อพิจารณาผลการวิจัยครั้งนี้ เกี่ยวกับขนาดแรงคืนกลับของลวด ที่ถูกกระตุ้นโดยวิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อใช้กระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม เป็นเวลา 3, 4 หรือ 5 วินาทีนั้น พบว่าแตกต่างจากผลการศึกษาของ Miura และคณะ¹⁷ ซึ่งได้ศึกษาขนาดแรงคืนกลับจากการทดสอบความงอสามจุดที่อุณหภูมิห้อง ของลวดเจแปนีสไนไท ชนิดลวดโค้งขึ้นรูปสำเร็จ หน้าตัดวงกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.016 นิ้ว ซึ่งได้รับความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง 3.5 แอมแปร์ ในลวดส่วนที่เป็นตำแหน่งพื้นหน้าและส่วนที่เป็นตำแหน่งพื้นกรามน้อย เป็นเวลา 60 และ 15 นาที ตามลำดับนั้น พบว่า ขนาดแรงคืนกลับจะมีค่าลดลงเมื่อลวดได้รับกระแสไฟฟ้านานขึ้น กล่าวคือ ขนาดแรงคืนกลับของลวดส่วนที่เป็นตำแหน่งพื้นหน้า จะมีค่าน้อยกว่าส่วนที่เป็นตำแหน่งพื้นกรามน้อย และส่วนที่เป็นตำแหน่งพื้นกราม ซึ่งไม่ได้รับกระแสไฟฟ้าเลยนั้น มีขนาดแรงคืนกลับมากที่สุด ความแตกต่างของผลการศึกษาร่วมกันกับผลการศึกษานี้ อาจเนื่องจากความ

แตกต่างของปริมาณกระแสไฟฟ้าแท้จริงที่ลวดได้รับ ระยะเวลาที่ลวดได้รับกระแสไฟฟ้าและความยาวลวดส่วนที่ได้รับกระแสไฟฟ้า ชนิดและปริมาณโลหะที่เป็นองค์ประกอบภายในของโลหะผสม รวมทั้งขั้นตอนและกรรมวิธีในการผลิต โดยการทดลองของ Miura และคณะ¹⁷ นั้น ได้ให้ไฟฟ้ากระแสตรงแก่เส้นลวดในปริมาณที่น้อยกว่า ด้วยเวลาที่นานกว่า และลวดส่วนที่ได้รับกระแสไฟฟ้ามีความยาวกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ ดังนั้น จึงอาจเป็นผลให้พลังงานไฟฟ้าหรือพลังงานความร้อนที่เกิดขึ้นกับลวดส่วนที่ได้รับกระแสไฟฟ้า มีค่าแตกต่างกัน และมีผลต่อขนาดแรงคืนกลับ

การเพิ่มขึ้นของขนาดแรงคืนกลับของลวดทั้งสองยี่ห้อ ตามการเพิ่มขึ้นของค่าอุณหภูมิทางทฤษฎีที่ได้จากการคำนวณตามกฎอนุรักษ์พลังงานในช่วง 421.4 ถึง 520.5 องศาเซลเซียสนั้น พบว่าจากผลการวิจัยครั้งนี้แตกต่างจากผลการวิจัยของ Miura และคณะ² ที่ศึกษาขนาดแรงคืนกลับ ซึ่งได้ทดสอบความมอดสามจุด ของลวดเจแปนีสไนท์ ที่ได้รับความร้อนจากการแช่ในอ่างบรรจุเกลือไนเตรท ที่อุณหภูมิ 400 และ 500 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5, 10, 60 และ 120 นาที ตามลำดับ และพบว่า ขนาดแรงคืนกลับขณะแสดงคุณสมบัติยืดหยุ่นยิ่งยวดมีค่าลดลงเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและ/หรือระยะเวลาเพิ่มขึ้น ความแตกต่างจากผลการศึกษาในครั้งนี้ อาจเนื่องมาจากความแตกต่างของชนิดและปริมาณโลหะที่เป็นองค์ประกอบภายในของเส้นลวด รวมถึงกรรมวิธีในการผลิต นอกจากนี้ รูปแบบและระยะเวลาการให้ความร้อนแก่เส้นลวด โดยการทดลองของ Miura และคณะ² ได้ให้ความร้อนโดยการแช่ในอ่างบรรจุเกลือไนเตรท และใช้ระยะเวลาที่นานกว่าการวิจัยครั้งนี้

อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบผลการวิจัยครั้งนี้กับการวิจัยของ Yoneyama และคณะ²² ซึ่งได้ศึกษาขนาดแรงคืนกลับขณะเปลี่ยนกลับสู่สภาวะคอสเทไนต์ หรือทรานซิชันนอลโหลด (transitional load) ของลวดโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม ชนิดยืดหยุ่นยิ่งยวด ที่ได้รับความร้อนจากการแช่ในอ่างบรรจุเกลือไนเตรท ในช่วงอุณหภูมิ 733 ถึง 813 เคลวิน (460 ถึง 540 องศาเซลเซียส) เป็นเวลา 30 นาที และพบว่าขนาดแรงคืนกลับของลวดขณะเปลี่ยนกลับสู่สภาวะคอสเทไนต์ มีค่าเพิ่มขึ้นตามค่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น ซึ่งคล้ายกับผลการวิจัยครั้งนี้ ที่ได้พบว่าขนาดแรงคืนกลับของลวดที่กระตุ้นโดยวิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง แปรผันตามค่าอุณหภูมิทางทฤษฎีที่ได้จากการคำนวณตามกฎอนุรักษ์พลังงาน ในช่วง

421.4 ถึง 520.5 องศาเซลเซียสเช่นกัน อย่างไรก็ตาม Yoneyama และคณะ²² ได้พิจารณาเฉพาะขนาดแรงคืนกลับขณะแสดงคุณสมบัติยืดหยุ่นยิ่งยวด ในขณะที่การวิจัยครั้งนี้ได้ศึกษาขนาดแรงที่ 4 ระยะการคืนกลับ คือ 2.0, 1.5, 1.0 และ 0.5 มม. ซึ่งเทียบได้กับแรงที่ลวดกระทำกับฟันเพื่อให้เกิดการเคลื่อนที่ ซึ่งทันตแพทย์จัดฟันควรให้ความสนใจ

การวิจัยครั้งนี้พบว่าขนาดแรงคืนกลับของลวดเซนต์อลลอย ชนิดเฮฟวี และลวดไนท์ ที่ถูกกระตุ้นโดยวิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าที่เหมาะสม เป็นเวลา 3, 4 หรือ 5 วินาทีนั้น แปรผันตามการเพิ่มขึ้นของค่าอุณหภูมิทางทฤษฎีที่ได้จากการคำนวณตามกฎอนุรักษ์พลังงาน ในช่วง 421.4 ถึง 520.5 องศาเซลเซียส สามารถประยุกต์ใช้งานในทางคลินิกได้ เช่น กรณีที่ต้องการตัดลวดดังกล่าวร่วมกับต้องการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงคืนกลับสามารถทำได้โดยกระตุ้นลวดส่วนที่ต้องการโดยวิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง ร่วมกับการตัดหรือปรับเปลี่ยนรูปร่าง เช่น การตัดลวดเป็นขั้น (step bend) ที่ตำแหน่งไกลกลางต่อฟันตัดซี่ข้าง เพื่อเปลี่ยนระดับในแนวตั้งของฟันหน้าและฟันหลัง โดยจับคีมให้มีระยะห่างเท่ากับลวดส่วนที่เป็นตำแหน่งฟันเขี้ยวและฟันกรามน้อยทั้งสองซี่ ซึ่งต้องการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงคืนกลับ แล้วให้กระแสไฟฟ้าในระดับที่เหมาะสม เพื่อให้ลวดส่วนนี้มีขนาดแรงคืนกลับมากกว่าลวดส่วนที่เป็นตำแหน่งฟันหน้าที่ไม่ได้รับกระแสไฟฟ้า จากนั้นตัดลวดเป็นมุมอีกครั้งในระนาบเดียวกันแต่ทิศทางตรงข้าม โดยจับคีมให้มีระยะห่างน้อยที่สุดที่ไม่ทำให้คีมทั้งสองอันสัมผัสกัน ขณะให้กระแสไฟฟ้าแก่เส้นลวด เพื่อป้องกันกระแสไฟฟ้าลัดวงจร วิธีนี้จะทำให้ได้ลวดที่ถูกตัดเป็นขั้นที่ตำแหน่งไกลกลางต่อฟันตัดซี่ข้าง โดยลวดส่วนที่เป็นตำแหน่งฟันเขี้ยวและฟันกรามน้อยทั้งสองซี่ จะมีขนาดแรงคืนกลับมากกว่าลวดส่วนที่เป็นตำแหน่งฟันหน้า และเนื่องจากขนาดแรงที่เหมาะสม (optimum force)²³ สำหรับการเคลื่อนฟันหน้าและฟันหลังมีความแตกต่างกัน ตามขนาดพื้นที่ผิวรากฟันส่วนที่ฝังอยู่ในกระดูก (root surface area) อย่างเป็นทางการเคลื่อนฟันหน้าและฟันหลังมีความแตกต่างกัน ดังนั้น วิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรงในการตัดหรือปรับเปลี่ยนรูปร่างลวดโลหะผสมนิกเกิล-ไทเทเนียม ชนิดยืดหยุ่นยิ่งยวด ร่วมกับการเปลี่ยนแปลงขนาดแรงคืนกลับจึงมีประโยชน์อย่างมากสำหรับสภาวะกรณีนี้

สรุป

1. ขนาดแรงคืนกลับของลวดเซนต์ออลลอย ชนิดเฮฟวี และลวดไนไท ที่ถูกกระตุ้นโดยวิธีให้ความร้อนจากแรงต้านทานไฟฟ้ากระแสตรง เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้าในระดับที่เหมาะสม สำหรับการตัดลวด เป็นเวลา 3, 4 หรือ 5 วินาที มีค่ามากกว่า ขนาดแรงคืนกลับของลวดยี่ห้อเดียวกันที่ไม่ได้รับกระแสไฟฟ้า ที่ทุกระยะการคืนกลับ 4 ระยะ คือ 2.0, 1.5, 1.0 และ 0.5 มม.

2. การเพิ่มขึ้นของขนาดแรงคืนกลับของลวดเซนต์ออลลอย ชนิดเฮฟวี และลวดไนไท ที่ได้รับกระแสไฟฟ้าในระดับที่เหมาะสม สำหรับการตัดลวด แปรผันตามการเพิ่มขึ้นของค่า อุณหภูมิทางทฤษฎี ที่ได้จากการคำนวณตามกฎอนุรักษ์พลังงาน ในช่วง 421.4 ถึง 520.5 องศาเซลเซียส

เอกสารอ้างอิง

- Andreasen G, Wass K, Chan KC. A review of super-elastic and thermodynamic nitinol wire. *Quintessence Int.* 1985;16:623-6.
- Miura F, Mogi M, Ohura Y, Hamanaka H. The super-elastic property of the Japanese NiTi alloy wire for use in orthodontics. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1986;90:1-10.
- Tonner RI, Waters NE. The characteristics of super-elastic Ni-Ti wires in three-point bending. Part I: the effect of temperature. *Eur J Orthod.* 1994;16:409-19.
- Segner D, Ibe D. Properties of superelastic wires and their relevance to orthodontic treatment. *Eur J Orthod.* 1995;17:395-402.
- Khier SE, Brantley WA, Fournelle RA. Bending properties of superelastic and nonsuperelastic nickel-titanium orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1991;99:310-8.
- Kusy RP. A review of contemporary archwires: their properties and characteristics. *Angle Orthod.* 1997;67:197-207.
- Wilkinson PD, Dysart PS, Hood JA, Herbison GP. Load-deflection characteristics of superelastic nickel-titanium orthodontic wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2002;121:483-95.
- Waters NE. Superelastic nickel-titanium wires. *Br J Orthod.* 1992;19:319-22.
- Funakubo H. Shape memory alloys. London: Gordon and Breach Science Publishers, 1987:124-36.
- Hurst CL, Duncanson MG Jr, Nanda RS, Angolkar PV. An evaluation of the shape-memory phenomenon of nickel-titanium orthodontic wires. *Am J Orthod. Dentofacial Orthop.* 1990;98:72-6.
- Andreasen GF, Brady PR. A use hypothesis for 55 Nitinol wire for orthodontics. *Angle Orthod.* 1972;42:172-7.
- Lee JH, Park JB, Andreasen GF, Lakes RS. Thermo-mechanical study of Ni-Ti alloys. *J Biomed Mater Res.* 1988;22:573-88.
- Santoro M, Beshers DN. Nickel-titanium alloys: stress-related temperature range. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 2000;118:685-92.
- Chen R, Zhi YF, Arvystas MG. Advanced Chinese NiTi alloy wire and clinical observations. *Angle Orthod.* 1992;62: 59-66.
- Andreasen GF, Hilleman TB. An evaluation of 55 cobalt substituted Nitinol wire for use in orthodontics. *J Am Dent Assoc.* 1971;82:1373-5.
- Drake SR, Wayne DM, Powers JM, Asgar K. Mechanical properties of orthodontic wires in tension, bending, and torsion. *Am J Orthod.* 1982;82:206-10.
- Miura F, Mogi M, Ohura Y. Japanese NiTi alloy wire: use of the direct electric resistance heat treatment method. *Eur J Orthod.* 1988;10:187-91.
- Elert G. *The Physics Hypertextbook.* 2nd ed. Boston: PWS, 1998:21-9.
- Thayer TA, Bagby MD, Moore RN, DeAngelis RJ. X-ray diffraction of nitinol orthodontic arch wires. *Am J Orthod Dentofacial Orthop.* 1995;107:604-12.
- Andreasen GF, Morrow RE. Laboratory and clinical analyses of nitinol wire. *Am J Orthod.* 1978;73:142-51.
- Nakano H, Satoh K, Norris R, Jin T, Kamegai T, Ishikawa F, et al. Mechanical properties of several nickel-titanium alloy wires in three-point bending tests. *Am J Orthod. Dentofacial Orthop.* 1999;115:390-5.
- Yoneyama T, Doi H, Hamanaka H, Yamamoto M, Kuroda T. Bending properties and transformation temperatures of heat treated Ni-Ti alloy wire for orthodontic appliances. *J Biomed Mater Res.* 1993; 27:399-402.
- Quinn RS, Yoshikawa DK. A reassessment of force magnitude in orthodontics. *Am J Orthod.* 1985;88: 252-60.

The deactivation force of superelastic nickel-titanium alloy wire stimulated by the direct electric resistance heat treatment method

Sarawadee Kunlayanapak D.D.S.¹

Vachara Phetcharakupt D.D.S., Dip. in Ortho. (Bergen), Dip.Th.B.O.²

Chintana Sirichompun D.D.S., M.D.Sc. (Orthodontics), Dip.Th.B.O.²

¹ Postgraduate student, Orthodontic Department, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University

² Orthodontic Department, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University

Abstract

Objectives To study the deactivation force of superelastic nickel-titanium alloy wires treated by the direct electric resistance heat treatment method and to compare the deactivation forces of treated and non-treated groups in the same brand.

Materials and methods The distal ends of 0.016 x 0.022 inches² preformed rectangular archwires, Sentalloy Heavy type (Tomy Co. Ltd.) and NiTi (Ormco Co. Ltd.) were cut into 21.5 millimeters and tested by three-point bending method to study the deactivation force at 4 deactivation distances (2.0, 1.5, 1.0 and 0.5 millimeters). The optimum electric currents for wire bending in 3, 4 or 5 seconds were used for treating the wires. Calculated by using the Law of Energy Conservation, the theoretical temperatures were referred.

Results The means of the deactivation forces were analytically compared by a One-Way ANOVA at $p = .05$. In each brand and every deactivation distance, the deactivation forces between the treated and non-treated groups were significantly different.

Conclusion The deactivation forces in the treated group were higher than those in the untreated group of each brand. In addition, the increasing in the deactivation forces of the treated group varied in accordance with the theoretical temperatures between 421.4 and 520.5°C.

(CU Dent J. 2005;28:19-28)

Key words: deactivation force; direct electric resistance heat treatment method; superelastic nickel-titanium alloy wire; three-point bending method
