บทวิทยาการ
Original Article

สมบัติทางกลและโครงสร้างทางจุลภาคของตะขอโลหะเหวี่ยงโคบอลต์-โครเมียมที่นำกลับมาใช้ซ้ำ

เกศินี พัฒนเจริญ
นิสิตบัณฑิตศึกษา ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ตระกล เมฆญารัชชนานนท์
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ภาณุพงศ์ วงศ์ไทย
รองศาสตราจารย์ ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ
ทันตแพทย์หญิงเกศินี พัฒนเจริญ
ภาควิชาทันตกรรมประดิษฐ์
คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ถนนอังรีดูนังต์ กรุงเทพฯ 10330
โทรศัพท์: 02-2188532-3
อีเมล: kew_kesinee@hotmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างทางจุลภาคของตะขอโอบฟันโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียมที่นำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำในสัดส่วนของโลหะเก่าและโลหะใหม่ร้อยละ 50.0 โดยน้ำหนัก ชิ้นงานตัวอย่างตะขอโอบฟันที่ทำจากโลหะเจือโคบอลต์-โครเมียม จำนวน 30 ชิ้น ถูกแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม กลุ่มละ 10 ชิ้น โดยกลุ่มที่ 1 ทำจากโลหะใหม่ทั้งหมด กลุ่มที่ 2 ทำจากโลหะใหม่ร้อยละ 50 ผสมกับโลหะเก่าร้อยละ 50.0 และกลุ่มที่ 3 ทำจากโลหะเก่าทั้งหมด โดยโลหะเก่าที่ใช้ผ่านการหลอมมาแล้ว 1 ครั้งเท่านั้น นำชิ้นงานมาทดสอบด้วยเครื่องทดสอบสากล ความเร็วหัวกด 0.5 มม. ต่อนาที บันทึกแรงที่ทำให้ชิ้นงานหัก และแรงที่ทำให้ชิ้นงานเปลี่ยนรูปอย่างถาวร นำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ผลด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว และเปรียบเทียบเชิงซ้อนโดยใช้สถิติแบบแอลเอสดีที่ระดับนัยสำคัญ .05 สุ่มเลือกชิ้นงานกลุ่มละ 3 ชิ้น มาตรวจดูลักษณะพื้นผิวที่แตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด และวิเคราะห์ธาตุด้วยเทคนิคอีดีเอส ผลการศึกษาพบว่าค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้ชิ้นงานหักของชิ้นงานตะขอทั้งสามกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) ค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้ชิ้นงานเปลี่ยนรูปอย่างถาวรของตะขอที่ทำจากโลหะใหม่ทั้งหมดไม่แตกต่างกับตะขอที่ทำจากโลหะใหม่ร้อยละ 50.0 ผสมกับโลหะเก่าร้อยละ 50.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่าสูงกว่าตะขอที่ทำจากโลหะเก่าทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$) จากการศึกษาลักษณะของพื้นผิวที่แตกหักของชิ้นงานจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด พบสิ่งปนเปื้อนเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของโลหะเก่าที่นำมาใช้ซ้ำ โดยสรุปคือการนำโลหะเจือโคบอลต์-โครเมียมกลับมาใช้ซ้ำ มีผลทำให้สมบัติทางกลของชิ้นงานตะขอต่ำลง ซึ่งสาเหตุหนึ่งน่าจะมาจากการแทรกตัวของสิ่งปนเปื้อนในโลหะเพิ่มมากขึ้น

บทนำ

แขนยึด (retentive arm) ของตะขอเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดต่อการให้แรงยึดแก่ฟันเทียมบางส่วนถอดได้ ฐานโลหะจึงเป็นตัวแปรสำคัญอย่างหนึ่งที่ช่วยเสริมประสิทธิภาพ และส่งผลต่อความสำเร็จหรือความล้มเหลวของฟันเทียม มีรายงานจำนวนมากพบว่าแขนยึดของตะขอมักเกิดปัญหาตามมาหลังจากผู้ป่วยใช้งานฟันเทียมในระยะเวลาหนึ่ง ได้แก่ การเปลี่ยนรูปอย่างถาวร หรือตะขอหักจากความล้า (fatigue)[1,2,3,4,5] เนื่องจากแขนยึดของตะขอเป็นส่วนประกอบของฟันเทียมที่ต้องรองรับความเค้น (stress) สะสมสูงมาก

ซึ่งเป็นผลรวมจากตะขอดึดตัวผ่านส่วนป่องของฟัน เข้าหรือออกจากส่วนคอด (undercut) ทุกครั้งที่ใส่หรือถอดฟันเทียม ทำให้เกิดความเค้นสะสมภายในตะขอทุกครั้งที่ตะขอมีการเปลี่ยนรูป อีกทั้งยังมีความเค้นที่เกิดจากการต้านต่อแรงในแนวดิ่งที่พยายามดึงฟันเทียมให้หลุด และความเค้นในแนวระนาบที่เกิดจากการขยับของฟันเทียมขณะบดเคี้ยว[6]

ในสภาวะเศรษฐกิจปัจจุบันโลหะเจือโคบอลต์-โครเมียม (cobalt-chromium alloy) ซึ่งเป็นโลหะที่นิยมใช้ทำโครงโลหะของฟันเทียมบางส่วนถอดได้มีราคาสูงขึ้น ห้องปฏิบัติการหลายแห่งจึงได้นำโลหะเก่าที่เหลือจากการเหวี่ยงครั้งก่อนมาผสมกับโลหะใหม่ในการเหวี่ยงโครงโลหะชิ้นใหม่เพื่อเป็นการประหยัดโลหะและลดค่าใช้จ่ายในการผลิต[7] ซึ่งการผลิตโครงโลหะตามห้องปฏิบัติการต่าง ๆ มีหลักปฏิบัติในการนำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำที่แตกต่างกัน การนำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำอย่างไม่เหมาะสม อาจเป็นปัจจัยอีกประการหนึ่งที่อาจส่งผลทำให้สมบัติทางกลของโลหะเจือที่ใช้ทำโครงโลหะของฟันเทียมบางส่วนถอดได้มีค่าต่ำกว่าปกติ ทำให้ความสามารถในการต้านทานต่อแรงที่มากระทำลดลง เกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรและหักได้ง่าย ผลที่ตามมาคือ ผู้ป่วยต้องเสียค่าใช้จ่ายในการซ่อมฟันเทียมหรือทำฟันเทียมชุดใหม่ก่อนเวลาอันควร ดังนั้น จึงเป็นการลงทุนที่ไม่คุ้มค่าตราบใดที่ยังไม่มีการควบคุมตัวแปรที่สำคัญในการนำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำอย่างถูกต้องเหมาะสม

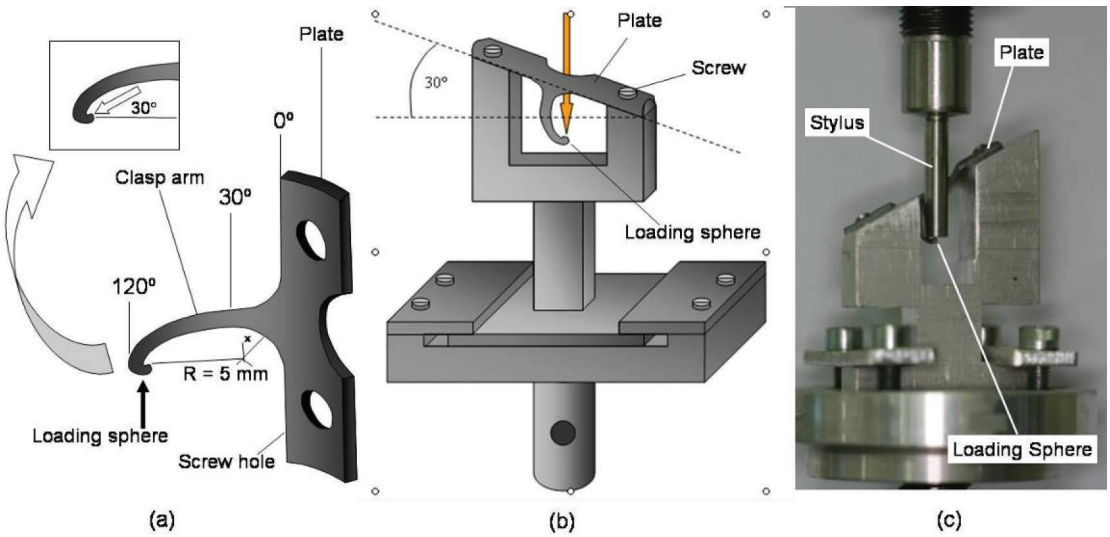
การศึกษาผลการนำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำจนถึงปัจจุบันมีไม่มากนัก Harcourt[8] กล่าวว่าการหลอมโลหะเจือในจำนวนครั้งของการหลอมที่มากเกินไป ทำให้ส่วนประกอบเปลี่ยนแปลง และการไหล (fluidity) ลดลง จึงแนะนำให้ผสมโลหะใหม่เข้าไปในสัดส่วนของน้ำหนักโลหะใหม่อย่างน้อยต้องเท่ากับน้ำหนักของโลหะเก่า Lewis[9] พบว่าค่าความทนแรงดึง (tensile strength) ของโลหะที่หลอมด้วยกระแสไฟฟ้ามีค่าคงที่ใน 3 รุ่นแรกของการหลอม โดยใช้โลหะเก่ารุ่นก่อนหน้าที่ผ่านการทดสอบสมบัติทางกลแล้วเป็นวัตถุดิบเริ่มต้น โดยไม่มีการผสมโลหะใหม่ Hesby และคณะ[7] ได้ศึกษาการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลของโลหะเจือโคบอลต์-โครเมียมที่ผ่านการเหวี่ยงซ้ำ 4 ครั้ง ซึ่งแต่ละครั้งใช้ชิ้นส่วนของโลหะเก่าครั้งก่อนหน้าเป็นโลหะเริ่มต้นโดยไม่มีการผสมโลหะใหม่ พบว่าสามารถนำกลับมาใช้ซ้ำได้อย่างน้อยที่สุด 4 ครั้ง โดยไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของค่าความทนแรงดึง ความแข็งผิวร็อกเวลส์ (Rockwell's hardness) และค่าร้อยละของการยืดตัว (percentage of elongation) ของชิ้นงานตัวอย่างในแต่ละรุ่น Nelson และคณะ[10] ได้ศึกษาสมบัติทางกลของโลหะเจือนิกเกิล-โครเมียมที่ผ่านการเหวี่ยงซ้ำตั้งแต่ 1-100 ครั้ง ซึ่งทุกครั้งจะผสมโลหะเก่าที่ผ่านการเหวี่ยงในครั้งก่อนเข้ากับโลหะใหม่ในสัดส่วนร้อยละ 50.0 พบว่าสมบัติทางกลและโครงสร้างทางจุลภาค (microstructure) ของโลหะในแต่ละรุ่นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ Khamis[11] ได้ศึกษาผลการนำโลหะเจือโคบอลต์-โครเมียมและโลหะเจือนิกเกิล-โครเมียมกลับมาใช้ซ้ำ พบว่าสามารถหลอมกลับมาใช้ใหม่ได้ 4 ครั้ง โดยไม่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความต้านทานต่อการกัดกร่อน (corrosion resistance) Altay และคณะ[12] พบว่าการใช้ปริมาณโลหะเก่ามากกว่าร้อยละ 50.0 ทำให้สมบัติของโลหะเจือโคบอลต์-โครเมียมเปลี่ยนแปลง คือ เหวี่ยงได้ยากขึ้น การไหลลดลง และความต้านทานต่อการสึก (wear resistance) ลดลง ปรินทร[13] พบว่าเฉพาะโลหะที่เหวี่ยงโดยมีสัดส่วนระหว่างโลหะเก่าที่ผ่านการเหวี่ยง 1 ครั้ง ร้อยละ 25.0 กับโลหะใหม่ ร้อยละ 75.0 เท่านั้น ที่มีสมบัติทางกลผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดที่ 14 ของสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกาสำหรับนำมาใช้ทำโครงโลหะฟันเทียมบางส่วนถอดได้

จากการทบทวนวรรณกรรมที่ผ่านมา ผู้วิจัยเห็นว่าควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับผลการนำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำต่อสมบัติทางกลของโลหะ โดยจำลองการทดสอบให้ใกล้เคียงกับการใช้งานในทางคลินิกจริงมากขึ้น จึงเลือกทำการศึกษาโดยจำลองชิ้นงานเลียนแบบแขนยึดของตะขอโอบฟัน (circumferential clasp) ซึ่งเป็นส่วนประกอบที่สำคัญที่สุดต่อการให้แรงยึดแก่ฟันเทียม งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกลและโครงสร้างทางจุลภาคของตะขอโอบฟันโลหะเจือโคบอลต์-โครเมียม ที่นำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำในสัดส่วนของโลหะเก่าและโลหะใหม่อย่างละร้อยละ 50.0 โดยน้ำหนักเปรียบเทียบกับโลหะใหม่และโลหะเก่า

วัสดุอุปกรณ์และวิธีการ

การเตรียมชิ้นงานตัวอย่าง

ออกแบบชิ้นงานตัวอย่างซึ่งดัดแปลงมาจากชิ้นงานที่ใช้ในงานวิจัยของ Mahmoud ในปี 2007[14] (รูปที่ 1a) วางกระสวนขี้ผึ้งตะขอพรีฟอร์มชนิด 21M (preformed clasp wax pattern: 21M, Flex-seal patterns, Dentsply, York, PA, U.S.A.) บนแท่งชิ้นหล่อวัสดุทำเบ้า (investment cast) ทรงกระบอก ทำด้วยวัสดุทำเบ้าซิลิกาบอนด์ (silica bonded investment, Dentsply, York, PA, U.S.A.) ซึ่งมีรัศมี 5 มม. โดยส่วนต้นตะขอเริ่มต้นจากเพลท (plate) ซึ่งเจาะรูขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 มม. จำนวน 2 รู สำหรับยึดสกรู



รูปที่ 1 *(a) ภาพวาดแสดงชิ้นงานตัวอย่างและมุมในการให้แรงกดชิ้นงาน (ชิ้นงานตัวอย่างประกอบด้วยแขนตะขอ ตุ่มในการให้แรงกด และเพลท ซึ่งมีรูสำหรับให้สกรูยึดกับอุปกรณ์ยึดชิ้นงาน (b) ภาพวาดแสดงชิ้นงานที่ยึดเข้ากับอุปกรณ์ยึดชิ้นงานซึ่งมีระนาบเอียงเป็นมุม 30 องศาในแนวดิ่ง (c) ชิ้นงานที่ยึดเข้ากับอุปกรณ์ยึดชิ้นงานและหัวกดซึ่งวางอยู่บนตุ่มในการให้แรงกดที่ส่วนปลายด้านในของตะขอ*

Fig. 1 *(a) schematic illustration of test specimen and loading angle. (specimen consists of a clasp arm, a loading sphere and a plate with 2 screw holes for fixation with the holder.) (b) schematic illustration of test specimen mounted with specimen holder, which has vertically 30 degree inclined plane. (c) mounted specimen with testing stylus on the loading sphere at the clasp tip.*

เข้ากับอุปกรณ์ที่ใช้ยึดชิ้นงานเข้ากับเครื่องทดสอบสากล (Universal testing machine, Instron 8872, Instron, Norwood, MA, U.S.A.) และวางกระสวนขี้ผึ้งตะขอโค้งไปตามพื้นผิวทรงกระบอกเป็นระยะ 120 องศา ตามแนวระนาบของพื้นผิวหน้าตัดทรงกระบอก (รูปที่ 1a) โดยที่แขนตะขอมีความกว้างและความหนาเฉลี่ยที่มุม 30 องศา เท่ากับ 1.58 มม. และ 1.30 มม. ตามลำดับ และมีความกว้างและความหนาเฉลี่ยที่มุม 120 องศา เท่ากับ 1.31 มม. และ 0.88 มม. ตามลำดับ

นำขี้ผึ้งแกนค้างรูเท (sprue wax pattern) มายึดเข้ากับแบบขี้ผึ้งชิ้นตัวอย่างต้นแบบ ลงเบ้าฝังด้วยวัสดุทำเบ้า (V.R. investment system, Dentsply, York, PA, U.S.A.) และเหวี่ยงโลหะเจือโคบอลต์-โครเมียม (cobalt-chromium alloy, Vitallium, Dentsply, York, PA, U.S.A.) (ตารางที่ 1) หมายเลขรุ่น 2223 ด้วยวิธีการเผาไล่ขี้ผึ้ง (lost wax technique) โดยใช้เครื่องเหวี่ยงชนิดอาศัยแรงหนีศูนย์กลางขับเคลื่อนด้วยไฟฟ้า (Centrifugal casting machine: Induction Casting Machine ECM4, Dentsply, York, PA, U.S.A.) ตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิต นำชิ้นงานตัวอย่างต้นแบบที่ได้มาติดตุ่มรูปทรงกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.5 มม. ที่ด้านในส่วนปลายตะขอเพื่อเป็นจุดให้แรงกดในการทดสอบ ลอกแบบชิ้นตัวอย่างต้นแบบโดยวิธีทำเบ้าอัดชิ้นตัวอย่างแบบแยก (split mold technique) ด้วยวัสดุ

ตารางที่ 1 *ส่วนประกอบ สมบัติทางกายภาพและสมบัติทางกล และคำแนะนำในการหล่อโลหะของบริษัทผู้ผลิตโลหะไวทาลเลียม*

Table 1 *Composition, Physical and mechanical properties and casting instruction of Vitallium® alloy manufacturer*

Composition	Physical and mechanical properties	Casting instruction
Cobalt 60%	0.2% yield strength ..... 616 MPa	To maintain the physical and mechanical properties of this alloy, it is recommended that at least 50% new metal be used for each casting.
Chromium 31.5%	Ultimate tensile strength ..... 855 MPa	
Molybdenum 6.0%	Modulus of elasticity ..... 200,000 MPa	
Nickel and Beryllium free alloy	Percent elongation 4.5%	Reverse (buttons) must be sandblasted and cleaned prior to reuse.
	Vickers hardness 428 VHN1	
	Melting range ..... 1,300-1,370°C	

พิมพ์แบบซิลิโคนชนิดศูนย์ (type 0 silicone impression material, Lab putty 90, Vertex Dental, Zeist, Netherlands) เพื่อสร้างแบบเรซินอะคริลิกสำหรับเหวี่ยงโลหะ โดยใช้เรซินชนิดบ่มเอง (self cured inlay pattern resin, Dura Lay, Worth, IL, U.S.A.)

นำแบบเรซินอะคริลิกทั้งหมดมาเหวี่ยงโลหะเจือโคบอลต์-โครเมียมด้วยวิธีการเผาไล่ขี้ผึ้ง ตามขั้นตอนเช่นเดียวกับการเหวี่ยงโลหะชิ้นตัวอย่างต้นแบบ โดยใช้สัดส่วนของโลหะใหม่ต่อโลหะเก่าที่ต่างกันในแต่ละกลุ่ม จำนวนกลุ่มละ 10 ชิ้น ดังนี้ กลุ่มที่ 1 เป็นโลหะใหม่ทั้งหมด กลุ่มที่ 2 ใช้สัดส่วนโดยน้ำหนักระหว่างโลหะใหม่กับโลหะเก่าร้อยละ 50.0 ต่อ 50.0 กลุ่มที่ 3 เป็นโลหะเก่าทั้งหมด โดยโลหะเก่าที่นำมาใช้ในกลุ่มที่ 2 และกลุ่มที่ 3 เป็นโลหะที่ผ่านการเหวี่ยงมาแล้ว 1 ครั้ง ซึ่งได้มาจากการตัดแกนค้างรูเทออกจากชิ้นตัวอย่างโลหะของกลุ่มที่ 1 ด้วยแผ่นคาร์บอรันดัม (caborundum disc, Dentsply, York, PA, U.S.A.) และใช้หัวกรอหิน (stone bur, Dentsply, York, PA, U.S.A.) กรอวัสดุทำเบ้าออกให้หมด เป่าทรายละเอียดขนาด 70 ไมครอน (Austenal dental sand, Dentsply, York, PA, U.S.A.) และใช้เครื่องทำความสะอาดด้วยไอน้ำ (steam cleaner, Dentsply, York, PA, U.S.A.) ชั่งน้ำหนักโลหะเก่าและโลหะใหม่ให้ได้ปริมาณสัดส่วนตามที่กำหนดไว้ ขัดแต่งชิ้นโลหะตัวอย่างให้น้อยที่สุดเพื่อลดความคลาดเคลื่อนจากการเปลี่ยนแปลงขนาดและรูปร่างของตะขอ โดยใช้หัวกรอหินกรอแต่งเฉพาะส่วนเกิน แล้วทำความสะอาดโดยการเป่าทรายละเอียดขนาด 70 ไมครอน

เลือกชิ้นตัวอย่างที่สมบูรณ์ซึ่งไม่มีจุดบกพร่องที่สามารถสังเกตเห็นได้เมื่อส่องดูด้วยกล้องจุลทรรศน์ชนิดสเตอริโอ (stereo microscope, ML 9300, MEIJI, Saitama, Japan) จากนั้นนำมาตรวจสอบหาตำหนิภายในด้วยการถ่ายภาพรังสี โดยตั้งค่าความเข้มรังสีที่ 90 กิโลโวลต์ 15 มิลลิแอมแปร์ เวลา 0.6 วินาที ระยะห่างระหว่างปากกระบอกรังสีกับฟิล์ม 4 นิ้ว[15,16] ใช้ฟิล์มถ่ายภาพรังสีในช่องปาก โกดักอัลตราสปีด ขนาด 4 (Kodak ultra-speed dental film: size 4, Eastman Kodak company, Rochester, NY, U.S.A.) ล้างฟิล์ม เป่าฟิล์มให้แห้ง แล้วตรวจดูด้วยตู้ดูฟิล์มและแว่นขยาย (กำลังขยาย 10 เท่า) เลือกเฉพาะชิ้นตัวอย่างที่ไม่มีฟองอากาศหรือรูพรุนภายในมาทดสอบ

การทดสอบและการวิเคราะห์ข้อมูล

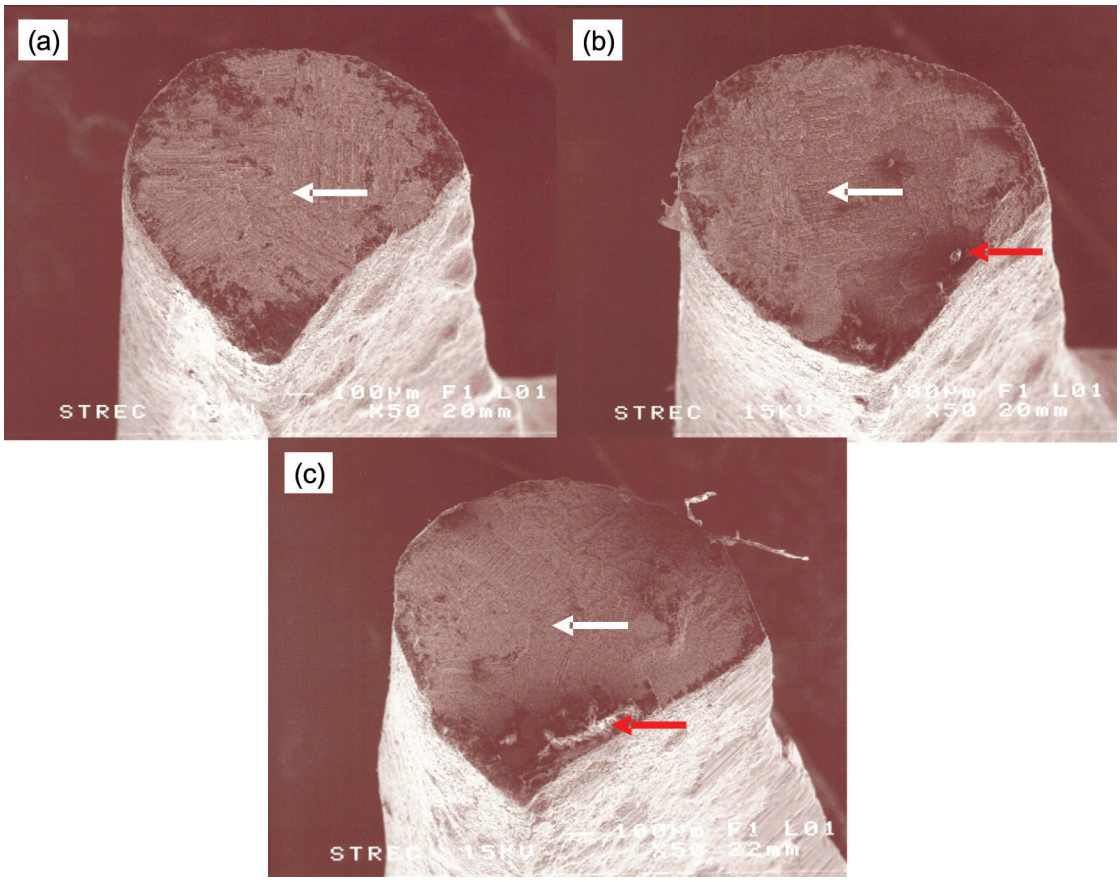
ยึดชิ้นงานตัวอย่างเข้ากับอุปกรณ์ยึดชิ้นงาน ซึ่งยึดเข้ากับเครื่องทดสอบสากล ใช้หัวกด (testing stylus) รูปทรงกระบอกเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม. กดที่ตุ่มบริเวณด้านในของส่วนปลายของตะขอ โดยทำมุมในแนวดิ่ง 30 องศา กับแนวรัศมีความโค้งของตะขอ ด้วยความเร็วหัวกด 0.5 มม.ต่อนาที (รูปที่ 1a, 1b และ 1c) เป็นการจำลองมุมที่ทำให้ตะขออ้าออกในขณะที่แขนยึดของตะขอโอบฟันเคลื่อนตัวผ่านบริเวณส่วนป่องของฟัน[14] จนกระทั่งตะขอหักบันทึกค่าแรงที่ทำให้ชิ้นงานหัก (load to fracture) และแรงที่ทำให้ชิ้นงานเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (load to permanent deformation) ที่ออฟเซ็ตร้อยละ 0.2 (0.2% offset) นำข้อมูลมาวิเคราะห์ผลด้วยสถิติการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบทางเดียว (One-way: ANOVA) และเปรียบเทียบเชิงซ้อน (Multiple comparison) ด้วยสถิติแบบแอลเอสดี (LSD) ที่ระดับนัยสำคัญ .05 จากนั้นสุ่มเลือกชิ้นงานที่หักกลุ่มละ 3 ตัวอย่าง เพื่อศึกษาดูลักษณะผิวของรอยแตกหักด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM-EDS: scanning electron microscope with EDS attachment, JEOL, JSM-6400, Houghton, MI, U.S.A.) กำลังขยาย 50 เท่า และ 500 เท่า และวิเคราะห์หาปริมาณธาตุ โครบอลต์ โครเมียม โมลิบดีนัม ซิลิกอน คาร์บอน ออกซิเจน อะลูมิเนียม แคลเซียม โพแทสเซียม ไททาเนียม โซเดียม และแมกนีเซียม ในบริเวณที่สนใจ โดยใช้เทคนิคอีดีเอส (EDS: Energy-dispersive spectroscopy)

ผล

จากการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยสถิติความแปรปรวนแบบทางเดียว (ตารางที่ 1) พบว่าค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้ชิ้นงานหักในแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p > .05$) ส่วนค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้ชิ้นงานเปลี่ยนรูปอย่างถาวรของชิ้นงานในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของชิ้นงานในกลุ่มที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$)

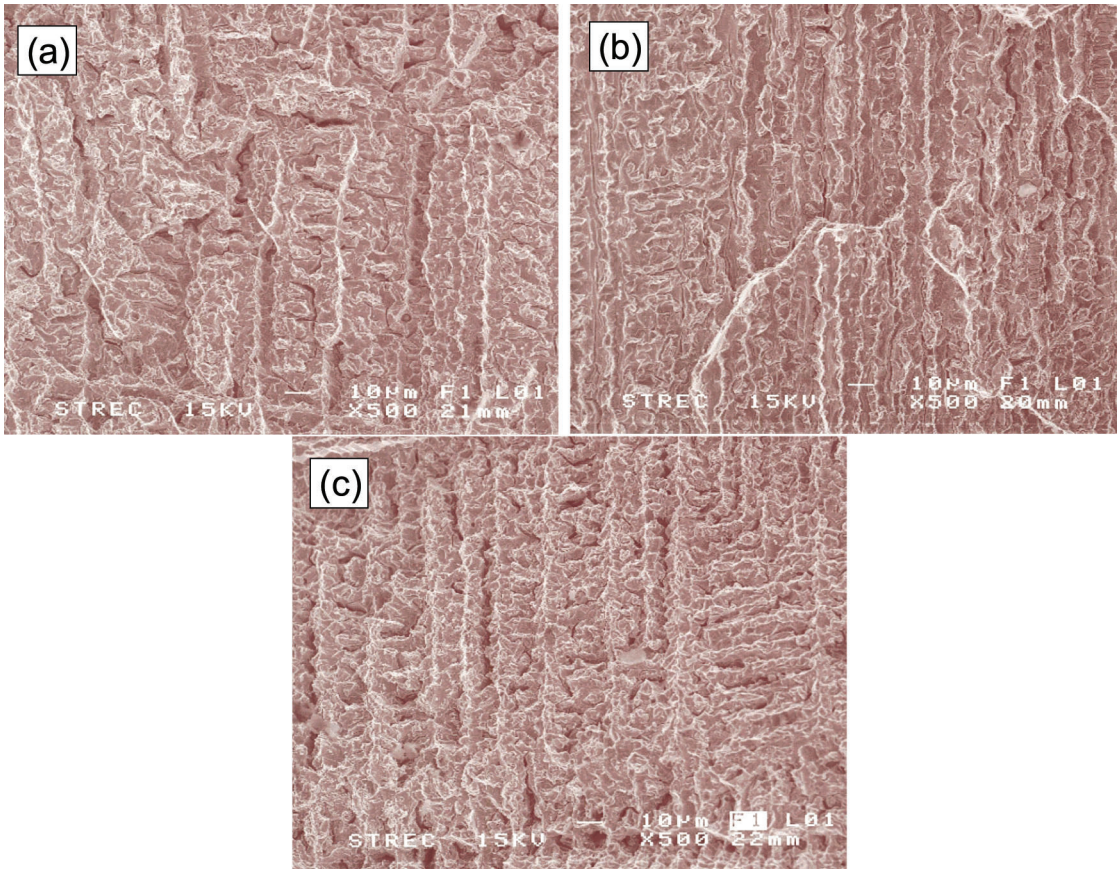
จากการตรวจดูลักษณะพื้นผิวที่หักของชิ้นงานทั้ง 3 กลุ่ม ด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด กำลังขยาย 50 เท่า (รูปที่ 2) ไม่พบว่ามีรูพรุนที่สังเกตเห็นได้แต่อย่างใด ชิ้นงานในกลุ่มที่ 1 ซึ่งเหวี่ยงจากโลหะใหม่ทั้งหมดไม่พบสิ่งเจือปนบนพื้นผิวชิ้นงานที่หัก จากการวิเคราะห์ธาตุโดยใช้เทคนิคอีดีเอสที่พื้นผิวชิ้นงานที่หัก (รูปที่ 2a ลูกศรสีขาว) พบว่ามีส่วนประกอบเป็น โคบอลต์ร้อยละ 44.3 โครเมียมร้อยละ 40.0 โมลิบดีนัมร้อยละ14.6 และซิลิกอนร้อยละ 1.1 ชิ้นงานในกลุ่มที่ 2 ซึ่งเหวี่ยงจากโลหะใหม่ร้อยละ 50.0 ผสมกับโลหะเก่าร้อยละ 50.0 พบสิ่งเจือปนบนพื้นผิวเล็กน้อย (รูปที่ 2b ลูกศรสีแดง) ซึ่งจากการวิเคราะห์ธาตุโดยใช้เทคนิคอีดีเอสที่บริเวณสิ่งเจือปนนี้พบว่าธาตุส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน (carbon) ซึ่งมีปริมาณ

สูงถึงร้อยละ 74.1 รองลงมาคือออกซิเจน (oxygen) ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 22.7 นอกจากนี้ยังมีธาตุอื่น ๆ อีกหลายธาตุซึ่งแต่ละธาตุพบในปริมาณที่ต่ำกว่าร้อยละ 1.0 ได้แก่ ซิลิกอน อะลูมิเนียม แคลเซียม โคบอลต์ โครเมียม โมลิบดีนัม โพแทสเซียม และไททาเนียม จากการวิเคราะห์ธาตุโดยใช้เทคนิคอีดีเอสที่พื้นผิวชิ้นงาน (รูปที่ 2b ลูกศรสีขาว) พบว่ามีส่วนประกอบเป็นโคบอลต์ร้อยละ 41.5 โครเมียมร้อยละ 43.4 โมลิบดีนัมร้อยละ 14.2 และซิลิกอนร้อยละ 0.9 ส่วนชิ้นงานในกลุ่มที่ 3 ซึ่งเหวี่ยงจากโลหะเก่าทั้งหมด พบสิ่งเจือปนค่อนข้างมาก (รูปที่ 1c ลูกศรสีแดง) ซึ่งจากการวิเคราะห์ธาตุบริเวณสิ่งเจือปนโดยใช้เทคนิคอีดีเอส พบว่าธาตุส่วนใหญ่เป็นคาร์บอนเช่นเดียวกัน ซึ่งมีปริมาณสูงถึงร้อยละ 77.6 รองลงมาคือออกซิเจน ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 14.1 และพบธาตุอื่นหลายธาตุในปริมาณที่ต่ำกว่าร้อยละ 1.0 ได้แก่ ซิลิกอน อะลูมิเนียม แคลเซียม โคบอลต์ โครเมียม โมลิบดีนัม โซเดียม และแมกนีเซียม จากการวิเคราะห์ธาตุบริเวณสิ่งเจือปนโดยใช้เทคนิคอีดีเอสที่พื้นผิวชิ้นงาน (รูปที่ 1c ลูกศรสีขาว) พบว่ามีส่วนประกอบเป็นโคบอลต์ร้อยละ 46.3 โครเมียมร้อยละ 38.3 โมลิบดีนัมร้อยละ 14.2 และซิลิกอนร้อยละ 1.25 ผลการตรวจดูลักษณะพื้นผิวที่แตกหักของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 500 เท่า (รูปที่ 3) ไม่พบว่ามีความแตกต่างอย่างชัดเจนของรูปแบบการแพร่ขยายของการแตก (crack propagation pattern) ในโครงสร้างทางจุลภาคเดนไดรต์ (dendritic microstructure)



รูปที่ 2 *ภาพขยายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวที่แตกหักของชิ้นงาน (กำลังขยาย 50 เท่า) (a) ชิ้นงานที่ทำจากโลหะใหม่ทั้งหมด (b) ชิ้นงานที่ทำจากโลหะใหม่ร้อยละ 50.0 ผสมกับโลหะเก่าร้อยละ 50.0 (c) ชิ้นงานที่ทำจากโลหะเก่าทั้งหมด*

Fig. 2 *SEM photomicrographs of fractured surfaces (X50 original magnification) (a) sample made from 100% new alloy (b) sample made from 50% new alloy mixed with 50% used alloy (c) sample made from 100% used alloy.*



รูปที่ 3 *ภาพขยายจากกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดของพื้นผิวที่แตกหักของชิ้นงาน (กำลังขยาย 500 เท่า) (a) ชิ้นงานในกลุ่มที่ 1 ซึ่งทำจากโลหะใหม่ทั้งหมด (b) ชิ้นงานในกลุ่มที่ 2 ซึ่งทำจากโลหะใหม่ร้อยละ 50.0 ผสมกับโลหะเก่าร้อยละ 50.0 (c) ชิ้นงานในกลุ่มที่ 3 ซึ่งทำจากโลหะเก่าทั้งหมด*

Fig. 3 *SEM photomicrograph of fractured surfaces (X500 original magnification) (a) sample made from 100% new alloy (b) sample made from 50% new alloy mixed with 50% used alloy (c) sample made from 100% used alloy.*

บทวิจารณ์

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยแรกที่ศึกษาผลของการนำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำต่อสมบัติทางกลของตะขอฟันเทียม ได้แก่ แรงที่ทำให้ตะขอหัก และแรงที่ทำให้ตะขอเปลี่ยนรูปอย่างถาวร โดยเลือกใช้โลหะไวทาลเลียม (Vitallium) ซึ่งเป็นโลหะเจือโคบอลต์-โครเมียมที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในงานฟันเทียมบางส่วนถอดได้ฐานโลหะ และแบ่งชิ้นงานตามสัดส่วนโดยน้ำหนักของโลหะเก่าและโลหะใหม่ที่แตกต่างกันออกเป็น 3 กลุ่มคือ กลุ่มที่ 1 ทำจากโลหะใหม่ทั้งหมด กลุ่มที่ 2 ทำจากโลหะใหม่ร้อยละ 50.0 ผสมกับโลหะเก่าร้อยละ 50.0 และกลุ่มที่ 3 ทำจากโลหะเก่าทั้งหมด เนื่องจากผู้วิจัยต้องการทดสอบข้อสรุปของงานวิจัยส่วนใหญ่[10,12,17] ที่กล่าวว่าสามารถนำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำได้ในสัดส่วนของโลหะเก่าร้อยละ 50.0 โดยไม่ทำให้คุณภาพของโครงโลหะเสียไป รวมถึงคำแนะนำในการหล่อโลหะของบริษัทผู้ผลิตไวทาลเลียมกล่าวไว้ว่าสามารถนำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำได้ โดยที่ควรมีสัดส่วนของโลหะใหม่อย่างน้อยที่สุดร้อยละ 50.0 (ตารางที่ 1)

ในงานวิจัยนี้พบว่าชิ้นงานตะขอมีการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรระยะหนึ่งก่อนชิ้นงานหัก จึงจัดเป็นการหักยืด (ductile fracture) ไม่ใช่การหักเปราะ (brittle fracture) โดยชิ้นงานทุกชิ้นหักที่บริเวณกึ่งกลางของตะขอ จากผลการศึกษา (ตารางที่ 2) พบว่าถึงแม้ว่าค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้ชิ้นงานหักในแต่ละกลุ่มจะไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่จากผลการทดสอบค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้ชิ้นงานเปลี่ยนรูปอย่างถาวร พบว่าค่าของชิ้นงานในกลุ่มที่ 1 ไม่มีความแตกต่างกับค่าของชิ้นงานในกลุ่มที่ 2 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่าสูงกว่าค่าของชิ้นงานในกลุ่มที่ 3 อย่างมีนัยสำคัญ-

ตารางที่ 2 *ค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และค่าสถิติของผลการทดสอบ*

Table 2 *Means, standard deviations and p-values of test results (n = 10)*

Properties	Group 1	Group 2	Group 3	*p*-value
load to fracture (N)	121.1±10.1	121.0±16.9	110.0±23.9	.305
load to permanent deformation** (N)	74.8±8.8	75.8±8.8 *	64.9±11.8 *	.039*

*statistically significant difference at alpha level = .05

**recorded load to permanent deformation at .2% offset

N = Newton

ทางสถิติ ($p < .05$) แสดงให้เห็นว่าชิ้นงานในกลุ่มที่ 3 สามารถเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรได้ง่ายกว่าชิ้นงานในกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ซึ่งในทางทันตกรรมถือว่าการเปลี่ยนรูปถาวรของตะขอเป็นความล้มเหลวอย่างหนึ่ง การที่แขนยึดของตะขออ้าออกหรือเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรจะทำให้ผู้ป่วยรู้สึกว่าฟันเทียมหลวม ซึ่งส่งผลต่อประสิทธิภาพในการบดเคี้ยว การพูด การกลืน ความรู้สึกสบายในขณะสวมใส่ฟันเทียม รวมถึงอาจมีผลเสียต่อฟันหรือเนื้อเยื่อในช่องปากอีกด้วย

งานวิจัยนี้มีความแตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ ที่ศึกษาผลของการนำโลหะเก่าที่ใช้ทำฟันเทียมบางส่วนถอดได้กลับมาใช้ซ้ำ โดยงานวิจัยส่วนใหญ่[7,9,10,13] จะทำชิ้นงานเป็นรูปแท่งทดสอบการดึง (tensile bar) และทดสอบตามเกณฑ์ข้อกำหนดที่ 14 ของสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกา ส่วนงานวิจัยนี้มีการจำลองการทดสอบให้ใกล้เคียงกับการใช้งานทางคลินิกจริงมากขึ้น โดยสร้างชิ้นงานเลียนแบบตะขอฟันเทียม และให้แรงเฉือน (shear force) ในทิศทางที่จำลองการดัดตัวของแขนยึดของตะขอโอบฟันขณะเคลื่อนตัวผ่านส่วนป่องของฟันหลัก ซึ่งจากผลการวิจัยนี้พบว่ามีความขัดแย้งกับผลงานวิจัยของ Lewis[9] ที่ยอมให้มีการนำโลหะเจือนิกเกิล-โครเมียมเก่ากลับมาใช้ซ้ำได้โดยไม่มีการผสมโลหะใหม่ลงไป และขัดแย้งกับผลงานวิจัยของ Hesby และคณะ[7] ที่ยอมให้มีการนำโลหะเจือโคบอลต์-โครเมียมเก่ากลับมาใช้ซ้ำได้โดยไม่มีการผสมโลหะใหม่ลงไป นอกจากนี้ยังได้ผลในทางตรงกันข้ามกับผลงานวิจัยของปรินทร[13] ที่ไม่แนะนำให้นำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำในสัดส่วนร้อยละ 50.0 เนื่องจากพบว่าสมบัติทางกลของโลหะเจือโคบอลต์-โครเมียมที่เหวี่ยงโดยมีสัดส่วนระหว่างโลหะเก่าร้อยละ 50.0 กับโลหะใหม่ร้อยละ 50.0 โดยที่โลหะเก่าผ่านการใช้ซ้ำ 1 ครั้ง ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานตามข้อกำหนดที่ 14 ของสมาคมทันตแพทย์แห่งสหรัฐอเมริกาสำหรับนำมาใช้ทำโครงโลหะฟันเทียมบางส่วนถอดได้

ผลการวิจัยนี้มีความสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Nelson และคณะ[10] ที่ยอมให้มีการนำโลหะเจือนิกเกิล-โครเมียมเก่ากลับมาใช้ซ้ำได้ ในสัดส่วนของโลหะเก่าร้อยละ 50.0 และสอดคล้องกับผลการศึกษาของ Altay และคณะ[12] และ Henriques และคณะ[17] ที่ยอมให้มีการนำโลหะเจือโคบอลต์-โครเมียมเก่ากลับมาใช้ซ้ำได้ในสัดส่วนของโลหะเก่าร้อยละ 50.0 โดย Nelson และคณะ[10] ได้ทำการวิจัยโดยทำการเหวี่ยงโลหะเจือนิกเกิล-โครเมียมซ้ำ 100 ครั้ง โดยที่แต่ละครั้งจะผสมโลหะใหม่ลงไปในสัดส่วนร้อยละ 50.0 พบว่าไม่มีผลกระทบต่อการใช้งานทางคลินิก สมบัติทางกล และโครงสร้างทางจุลภาคของโลหะที่เหวี่ยงได้ จึงสรุปว่าสามารถนำโลหะเจือนิกเกิล-โครเมียมเก่ากลับมาใช้ซ้ำกี่ครั้งก็ได้ หากผสมโลหะใหม่ในสัดส่วนไม่ต่ำกว่าร้อยละ 50.0 แต่อย่างไรก็ตาม การวิจัยของ Nelson นี้มีข้อบกพร่องอย่างมาก เนื่องจากไม่มีการใช้สถิติในการแปลผล แต่แปลผลจากการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยเท่านั้น ส่วน Henriques และคณะ[17] สรุปว่าสามารถนำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำได้ในสัดส่วนร้อยละ 50.0 โดยไม่ทำให้ความต้านทานต่อการล้าของโครงโลหะเสียไป แต่งานวิจัยของ Henriques และคณะนี้มีจุดบกพร่องตรงที่ไม่มีการถ่ายภาพรังสีเพื่อคัดชิ้นงานที่มีรูพรุนภายในออกก่อนการทดสอบ แต่จากการส่องกล้องดูพื้นผิวของชิ้นงานที่แตกหักจากการทดสอบ พบว่ามีรูพรุนในชิ้นงานเกิดขึ้น ซึ่งอาจทำให้เกิดความคลาดเคลื่อนของผลการวิจัยได้

อย่างไรก็ตาม ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าการนำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำในสัดส่วนของโลหะเก่าร้อยละ 50.0 ไม่มีผลกระทบต่อการใช้งานทางคลินิกของตะขอฟันเทียม เนื่องจากมีรายงานว่าโดยปกติแล้วความล้มเหลวทางกลของโครงโลหะฟันเทียมบางส่วนถอดได้มักไม่ได้เกิดขึ้นโดยทันที แต่มักเกิดขึ้นหลังจากการใช้งานเป็นระยะเวลาหลายปี ซึ่งแสดงให้เห็นว่าความล้มเหลวนี้ อาจจะเกิดจากการที่โครงโลหะเกิดความล้าจากการได้รับความเค้นซ้ำ ๆ เป็นเวลานาน ความต้านทานต่อการล้าจึงเป็นปัจจัยที่สำคัญอย่างหนึ่งต่อความคงทนในทางคลินิกของวัสดุทางทันตกรรม[18] ดังนั้น ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงผลการนำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำต่อความต้านทานต่อการล้าของแขนยึดของตะขอฟันเทียม

Ben-Ur และคณะ[3] ได้อธิบายสาเหตุความบกพร่องของสมบัติทางกลของโลหะผสมที่ใช้ทำโครงโลหะที่สำคัญ 2 ประการ คือ ประการแรก เกิดจากตำหนิภายในโครงโลหะ โดยมีสิ่งปนเปื้อนหรือผลิตภัณฑ์บางอย่างจากการเหวี่ยงโลหะที่ส่งผลให้สมบัติทางกลของโลหะที่ได้มีค่าต่ำกว่าปกติ ความสามารถในการต้านทาน

ต่อแรงที่มากระทำลดลงและแตกหักได้ง่าย ได้แก่ อินคลูชัน (inclusion) ฟองอากาศ รูพรุน วัฏภาคคาร์ไบด์ (carbide phase) และโครงสร้างเดนไดรต์ โดยที่ฟองอากาศ รูพรุน และสิ่งปนเปื้อนที่ทำให้เกิดเป็นอินคลูชันในเนื้อโลหะ ทำให้โลหะมีความหนาน้อยกว่าที่ควร และมีช่องว่างภายในซึ่งเป็นจุดอ่อนโดยเป็นจุดต้นกำเนิดรอยร้าวเมื่อโครงโลหะได้รับแรง ส่วนวัฏภาคคาร์ไบด์เกิดจากปริมาณคาร์บอนที่มากเกินไปในส่วนผสม (ร้อยละ 1.0-1.5) ทำให้โลหะที่แข็งตัวเร็วมีวัฏภาคคาร์ไบด์เป็นปริมาณมาก ลดความแข็งแรงและการยืดตัวลง ส่วนความเปราะเพิ่มขึ้น ในโลหะหล่อที่หักมักพบว่ามีวัฏภาคคาร์ไบด์เชื่อมต่อกันเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่และต่อเนื่องกันจำนวนมาก และจากการที่วัฏภาคคาร์ไบด์มีขนาดใหญ่จะส่งผลให้โครงสร้างเดนไดรต์มีขนาดเล็กลง และโลหะผสมยืดตัวลดลง ซึ่ง Annusavice[19] กล่าวว่าโดยทั่วไปแล้วโลหะหล่อไม่ต้องการโครงสร้างเดนไดรต์ เนื่องจากบริเวณระหว่างโครงสร้างเดนไดรต์ (interdendritic region) เป็นบริเวณที่รอยแตกแพร่ขยายได้ง่าย ส่วนสาเหตุประการที่ 2 เป็นผลจากการเหวี่ยงโลหะซึ่งปราศจากตำหนิ การหักของโครงโลหะที่ปราศจากตำหนินั้นเป็นผลมาจากการที่โลหะนั้นมีเกรน (grain) ขนาดใหญ่ซึ่งทนต่อความเค้นได้ต่ำ โดยธรรมชาติแล้วโลหะที่มีเกรนขนาดเล็กจะมีสมบัติดีกว่าโลหะที่มีเกรนขนาดใหญ่ มีความสามารถในการต้านต่อการเกิดการเปลี่ยนรูปอย่างถาวรได้มากกว่า ความต้านทานต่อการล้าสูงกว่า มีค่าความทนแรงดึงสูงกว่า และมีความสามารถในการคืนตัวสูงกว่า

การศึกษาหลายการศึกษาพยายามอธิบายสาเหตุที่การนำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำมีผลทำให้สมบัติทางกลของโลหะด้อยลง Altay และคณะ[12] ได้เสนอแนวคิดว่าการผสมโลหะเก่าทำให้สิ่งปนเปื้อน ออกไซด์ และเศษวัสดุแปลกปลอมมีโอกาสแทรกตัวในโลหะเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อผสมโลหะเก่าในปริมาณมาก จะยิ่งมีสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ภายในโลหะเก่ามากขึ้น ซึ่งอาจสังเกตไม่เห็นด้วยตาเปล่า แต่ส่งผลให้สมบัติทางกลของโลหะด้อยลงได้ ดังนั้น จึงมีนักวิจัยหลายท่านแนะนำว่าก่อนนำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำควรทำความสะอาดเอาวัสดุทำเบ้าออกจากชิ้นงานให้มากที่สุด โดยเป่าทรายด้วยผงอะลูมินัมออกไซด์ (aluminum oxide) และทำความสะอาดด้วยเครื่องทำความสะอาดอัลตราโซนิกโดยใช้น้ำกลั่น เพื่อลดสิ่งปนเปื้อนซึ่งอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสมบัติทางกลของโลหะให้เหลือน้อยที่สุด[7,10,17,20] นอกจากนี้การหลอมโลหะเก่าซ้ำยังส่งผลให้โลหะเกิดการเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายใน ซึ่งผลจะมากขึ้นตามจำนวนครั้งในการหลอมซ้ำ การได้รับความร้อนจนถึงระดับที่มีการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างทางจุลภาคหลายครั้งอาจทำให้สูญเสียธาตุโลหะบางตัวจากสภาวะออกซิเดชันหรือจากการระเหยได้ จึงก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสมบัติทางกลของโลหะจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณธาตุโลหะที่เป็นองค์ประกอบในแต่ละครั้งที่มีการนำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำ ซึ่งถึงแม้ว่าการผสมโลหะใหม่อาจมีส่วนช่วยชดเชยธาตุโลหะบางตัวที่ขาดหายไป แต่ไม่ได้ช่วยให้สมบัติทางกลของโลหะที่เหวี่ยงได้ดีขึ้น[21] นอกจากปัญหาดังกล่าว การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบภายในโลหะเมื่อผ่านการหลอมซ้ำยังส่งผลต่อสมบัติทางกลทางอ้อม จากการที่โลหะเหวี่ยงได้ยากขึ้น เนื่องจากการไหลลดลง ทำให้โลหะแยกตัวและปรากฏเป็นฟองอากาศหรือรูพรุนภายในโลหะหลังจากแข็งตัว ดังเช่นปัญหาที่พบในการศึกษาของ Hesby และคณะ[7] และ Henriques และคณะ[17] รวมถึงในการศึกษาครั้งนี้ด้วย

งานวิจัยนี้ได้ถ่ายภาพรังสีเพื่อตรวจสอบรูพรุนภายในชิ้นงาน โดยพบว่าชิ้นงานในกลุ่มที่ 1 พบรูพรุนใน 2 ชิ้นงาน ซึ่งเป็นเพียงรูพรุนขนาดเล็ก และพบชิ้นละ 1 ตำแหน่งเท่านั้น ชิ้นงานในกลุ่มที่ 2 พบรูพรุนในชิ้นงานจำนวน 5 ชิ้น ส่วนชิ้นงานในกลุ่มที่ 3 พบรูพรุนในชิ้นงานจำนวน 7 ชิ้น ซึ่งถึงแม้รูพรุนจะมีขนาดไม่ใหญ่มากนัก แต่กระจายอยู่หลายตำแหน่งในชิ้นงาน เห็นได้ว่าชิ้นงานที่ทำจากโลหะเก่าในอัตราส่วนผสมที่มากขึ้นจะพบรูพรุนในชิ้นงานมากขึ้น ผู้วิจัยได้คัดชิ้นงานที่ตรวจพบรูพรุนทั้งหมดออกจากการทดสอบเพื่อป้องกันการคลาดเคลื่อนของผลการทดลอง จึงไม่พบรูพรุนจากการตรวจดูลักษณะพื้นผิวที่แตกหักของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด

จากผลการตรวจดูลักษณะพื้นผิวที่แตกหักของชิ้นงานด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราดกำลังขยาย 50 เท่า พบว่าปริมาณของสิ่งปนเปื้อนจะเพิ่มสูงขึ้นตามอัตราส่วนของโลหะเก่าที่นำกลับมาใช้ซ้ำ และจากการวิเคราะห์ธาตุในบริเวณที่พบสิ่งปนเปื้อนโดยใช้เทคนิคอีดีเอส พบว่าปริมาณธาตุส่วนใหญ่เป็นคาร์บอน ซึ่งพบในปริมาณที่สูงกว่าร้อยละ 70.0 ทั้งในชิ้นงานที่ทำจากโลหะเก่าร้อยละ 50.0 และชิ้นงานที่ทำจากโลหะเก่าทั้งหมด Annusavice[19] กล่าวว่าการมีคาร์บอนอินคลูชันเป็นสาเหตุหนึ่งของความบกพร่องของชิ้นงานโลหะที่หล่อได้ โดยที่คาร์บอนอาจจะมาจากเบ้าหลอม (crucible) หรือหัวเชื่อม (torch) ที่มีการปรับไม่เหมาะสม หรืออาจมาจากวัสดุทำเบ้าที่มีคาร์บอนเป็นส่วนประกอบ ซึ่งอนุภาคเหล่านี้สามารถนำไปสู่การเกิดคาร์ไบด์ในวัฏภาคคาร์ไบด์หรืออาจเกิดเป็นคาร์บอนอินคลูชันที่สามารถสังเกตเห็นได้

ถึงแม้ว่าในงานวิจัยนี้จะทำความสะอาดโลหะเก่าที่ผ่านการใช้ซ้ำมาแล้วเป็นอย่างดี ก่อนที่จะนำไปหลอมซ้ำด้วยการเป่าทรายละเอียดขนาด 70 ไมครอน และใช้เครื่องทำความสะอาดด้วย

ไอน้ำ แต่ยังพบว่ามีสิ่งเจือปนอยู่ในเนื้อโลหะ ซึ่งอาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สมบัติทางกลของชิ้นงานตะขอโลหะต่ำลง สอดคล้องกับคำกล่าวของ Altay และคณะ[12] ที่ว่าสิ่งปนเปื้อนที่อยู่ภายในโลหะอาจสังเกตไม่เห็นด้วยตาเปล่า แต่ส่งผลให้สมบัติทางกลของโลหะด้อยลงได้ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่ห้องปฏิบัติการต่าง ๆ ควรปฏิบัติตามคำแนะนำของบริษัทผู้ผลิตอย่างเคร่งครัดในการทำความสะอาดส่วนของโลหะเก่าก่อนที่จะนำไปใช้ซ้ำ เพื่อลดสิ่งปนเปื้อนที่อาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสมบัติทางกลของโลหะให้เหลือน้อยที่สุด

การศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคในงานวิจัยนี้เป็นเพียงการศึกษาในเบื้องต้นเท่านั้น ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมโดยการนำชิ้นงานโลหะไปขัดเงาและกัดด้วยกรดที่เหมาะสม เพื่อนำไปตรวจสอบโครงสร้างทางจุลภาคในแง่ขนาดของเกรนและวัฏภาคคาร์ไบด์ นอกจากนี้ ควรวิเคราะห์องค์ประกอบของธาตุโลหะเปลี่ยนแปลงไปเพื่อให้ได้ข้อมูลที่สามารถอธิบายถึงสาเหตุของสมบัติทางกลที่ต่ำลงได้ชัดเจนมากยิ่งขึ้น

บทสรุป

ค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้ชิ้นงานหักในแต่ละกลุ่มไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ส่วนค่าเฉลี่ยของแรงที่ทำให้ชิ้นงานเปลี่ยนรูปอย่างถาวรของชิ้นงานที่ทำจากโลหะใหม่ทั้งหมดไม่มีความแตกต่างกับค่าเฉลี่ยของชิ้นงานที่ทำจากโลหะใหม่ร้อยละ 50.0 ผสมกับโลหะเก่าร้อยละ 50.0 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่มีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยของชิ้นงานตะขอที่ทำจากโลหะเก่าทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < .05$)

สิ่งปนเปื้อนที่แทรกตัวในเนื้อโลหะน่าจะเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้สมบัติทางกลของโลหะต่ำลง ดังนั้น ก่อนนำโลหะเก่ากลับมาใช้ซ้ำ ควรทำความสะอาดเอาวัสดุทำเบ้าและสิ่งปนเปื้อนต่าง ๆ ออกจากชิ้นงานให้ได้มากที่สุด โดยการเป่าทรายละเอียดหรือผงอะลูมินัมออกไซด์ และใช้เครื่องทำความสะอาดด้วยไอน้ำหรือใช้เครื่องทำความสะอาดแบบอัลตราโซนิก เพื่อลดสิ่งปนเปื้อนซึ่งอาจก่อให้เกิดผลเสียต่อสมบัติทางกลของโลหะให้เหลือน้อยที่สุด

กิตติกรรมประกาศ

คุณความดีหรือประโยชน์ใด ๆ ที่ได้จากงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยขออุทิศแด่ รองศาสตราจารย์ ทันตแพทย์ ภาณุพงศ์ วงศ์ไทย อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ซึ่งกรุณาชี้แนะแนวทางและให้คำแนะนำต่าง ๆ ที่เป็นประโยชน์อย่างยิ่งตลอดการทำงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยจะขอระลึกถึงพระคุณของอาจารย์ตลอดไป ขอให้อาจารย์ไปสู่สุคติเทอญ

ผู้วิจัยขอขอบคุณจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่ให้ทุนอุดหนุนวิทยานิพนธ์สำหรับนิสิต ครั้งที่ 2 ปีงบประมาณ 2552 เลขที่ 77 และขอขอบคุณสายน้ำทิพย์แลปที่ให้ความช่วยเหลือในการผลิตชิ้นงานวิจัย ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

เอกสารอ้างอิง

1. Derry A, Bertram U. A clinical survey of removable partial dentures after 2 years usage. ***Acta Odontol Scand*** 1970; 28:581-98.
2. Bergman B, Hugoson A,Olsson CO. Caries, periodontal and prosthetic findings in patients with removable partial dentures: a ten-year longitudinal study. ***J Prosthet Dent*** 1982;48: 506-14.
3. Ben-Ur Z, Patael H, Cardash HS, Baharav H. The fracture of cobalt-chromium alloy removable partial dentures. ***Quintessence Int*** 1986;17:797-801.
4. Vallittu PK, Lassila VP, Lappalainen R. Evaluation of damage to removable dentures in two cities in Finland. ***Acta Odontol Scand*** 1993;51:363-9.
5. Sandu L, Faur N, Bortun C. Finite element stress analysis and fatigue behavior of cast circumferential clasps. ***J Prosthet Dent*** 2007;97:39-44.
6. Bates JF. Studies related to the fracture of partial dentures; flexural fatigue of a cobalt-chromium Alloy. ***Br Dent J*** 1965; 118:532-7.
7. Hesby DA, Kobes P, Garver DG, Pelleu GB. Physical properties of a repeatedly used nonprecious metal alloy. ***J Prosthet Dent*** 1980;44:291-3.
8. Harcourt HJ. The remelting of cobalt-chromium alloys. ***Br Dent J*** 1962;112:198-204.
9. Lewis AJ. The effect of remelting on the mechanical properties of a Nickel base partial denture casting alloy. ***Aust Dent J*** 1975;20:89-93.
10. Nelson DR, Palik JF, Morris HF, Comella MC. Recasting a nickel-chromium alloy. ***J Prosthet Dent*** 1986;55:122-7.
11. Khamis E, Seddik M. Corrosion evaluation of recasting non-precious dental alloys. ***Int Dent J*** 1995;45:209-17.
12. Altay OT, Oktemet M, Demirel F, Kocaderell M. A comparative

study of the internal structure, hardness and remelting properties of different combination of new chromium-cobalt alloys. ***Quintessence Dent Tech*** 1990/1991:153-5.

13. ปรินทร หิริรักษาพิทักษ์. กลสมบัติของโลหะผสมโคบอลต์-โครเมียมเก่าที่เวียนใช้ [วิทยานิพนธ์]. กรุงเทพมหานคร:จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2540.
14. Mahmoud A. Pre-overloading to extend fatigue life of cast clasps. ***J Dent Res*** 2007;86:868-72.
15. Wise HB, Kaiser DA. A radiographic technique for examination of internal defects in metal frameworks. ***J Prosthet Dent*** 1979;42:594-5.
16. Elarbi EA, Ismail YH, Azarbal M, Saini TS. Radiographic detection of porosities in removable partial denture castings. ***J Prosthet Dent*** 1985;54:674-7.
17. Henriques GE, Consani S, Rollo JMD, Salva FA. Soldering and remelting influence on fatigue strength of cobalt-chromium alloys. ***J Prosthet Dent*** 1997;78:146-52.
18. Gapido CG, Kobayashi H, Miyakawa O, Kohno S. Fatigue resistance of cast occlusal rests using Co-Cr and Ag-Pd-Cu-Au alloys. ***J Prosthet Dent*** 2003;90:261-9.
19. Annusavice KJ. Phillipsu science of dental materials. 11th ed. Missouri: Saunder; 2003. p.112-113,341.
20. Hong J, Razzoog M, Lang BR. The effect of recasting on the oxidation layer of a palladium-silver porcelain alloy. ***J Prosthet Dent*** 1998;59:420-5.
21. Asgar K, Techow BO, Jacobson JM. A new alloy for partial dentures. ***J Prosthet Dent*** 1970;23:36-43.

Original Article

Mechanical Property and Microstructure of Recycled Cobalt-Chromium Alloy Cast Clasp

Kesinee Pattanachareon
Graduate student
Department of Prosthodontics
Faculty of Dentistry,
Chulalongkorn University
Trakol Mekayarajjananonth
Assistant Professor
Department of Prosthodontics
Faculty of Dentistry,
Chulalongkorn University
Parnupong Wongthai
Associate Professor
Department of Prosthodontics
Faculty of Dentistry,
Chulalongkorn University

Correspondence to:
Dr. Kesinee Pattanachareon
Department of Prosthodontics
Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University
Henri-Dunant Rd., Bangkok 10330
Tel: 02-2188532-3
E-mail: kew_kesinee@hotmail.com

Abstract

The aim of this study was to investigate the mechanical properties and microstructure of cobalt-chromium alloy cast circumferential clasps recycled in 50:50 mixing ratios by weight of used alloy and new alloy. Thirty circumferential clasp samples made from cobalt-chromium alloy were divided into 3 groups (n = 10 per group) : 100% new alloy, 50% used alloy mixed with 50% new alloy, and 100% used alloy; the used alloy was melted only once. Ten samples per group were tested on the universal testing machine with a crosshead speed of 0.5 mm/min. The load to fracture and load to permanent deformation were recorded. One-way analysis of variance and LSD multiple comparison tests were used to compare the results of the 3 groups ($\alpha = 0.05$). Three selected samples from each group were examined the fractured surface using a Scanning Electron Microscope (SEM) and analyzed elements with Energy dispersive spectroscopy (EDS). The results showed that the mean load to fracture of the three groups were not significantly different ($p < .05$). The mean load to permanent deformation of the 100% new alloy cast clasps was not significantly different from that of the 50% used alloy mixed with 50% new alloy cast clasps but was significantly greater than that of the 100% used alloy cast clasps ($p < .05$). SEM examination revealed that contamination increased with the ratio of used alloy. In conclusion, the use of used cobalt-chromium alloy reduces the mechanical property of the cast clasp which may result from contamination of the inclusions in the alloy.

Key words: circumferential clasp; cobalt-chromium alloy; used cobalt-chromium alloy