STRESS RELAXATION OF SMARTEE CLEAR ALIGNER MATERIAL

Arisa SAPSUTWILAI[1], Chidchanok LEETHANAKUL[1], Hataichanok CHAROENPONG[2] and Apichart VEERAWATTANATIGUL[2]

1 Faculty of Dentistry, Prince of Songkla University, Thailand; kaitoonzx@gmail.com (A. S.)

2 College of Dental Medicine, Rangsit University, Thailand

ARTICLE HISTORY

Received: 6 February 2026 **Revised:** 27 February 2026 **Published:** 13 March 2026

ABSTRACT

Smartee is a brand that manufactures its own proprietary PET-G-based thermoplastic materials. Stress relaxation is critical for clear aligner materials. It directly impacts orthodontic treatment efficiency. This study aimed to examine stress relaxation properties of thermoplastic polymer materials manufactured by Smartee. Twelve samples (5 mm × 9 mm) were sectioned from the upper central incisor of aligners and divided into unused (n = 6) and 7-day worn (n = 6) groups. Testing was performed blindly. Using a DMA1 (Mettler-Toledo, Greifensee, Switzerland) at 37°C, a constant extension of 0.3 mm was applied to each sample, and the resulting force decay was recorded over 1 hour. Data was recorded and analyzed using the STARe software. Result, the measured force was 0.32 ± 0.09 N for the unused group and 0.27 ± 0.09 N for the 7-day worn group, with corresponding stress relaxation values of 2.41 ± 1.16 MPa and 2.00 ± 0.15 MPa, respectively. Statistical comparison using independent t-tests showed no significant difference between groups for either force or stress ($p > 0.05$). Conclusions, there was no significant difference in force and stress relaxation between unused and 7-day worn Smartee clear aligners material.

Keywords: Orthodontic Thermoplastic Materials, Mechanical Properties, Stress Relaxation, Clear Aligners

CITATION INFORMATION: Sapsutwilai, A., Leethanakul, C., Charoenpong, H., & Veerawattanatigul, A. (2026). Stress Relaxation of Smartee Clear Aligner Material. *Procedia of Multidisciplinary Research, 4*(3), 32

การคลายความเค้นของวัสดุเครื่องมือจัดฟันแบบใส Smartee

อริสา ทรัพย์สุดวิไล[1], ชิดชนก ลีธนะกุล[1], หทัยชนก เจริญพงศ์[2] และ อภิชาต วีรวัฒนาธิกุล[2]

1 คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; kaitoonzx@gmail.com (อริสา)

2 วิทยาลัยทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

บทคัดย่อ

Smartee เป็นยี่ห้อเครื่องมือจัดฟันแบบใสซึ่งผลิตวัสดุเทอร์โมพลาสติกเฉพาะของตนเอง การคลายความเค้นมีความสำคัญและส่งผลกระทบโดยตรงต่อประสิทธิภาพของการรักษาทางทันตกรรมจัดฟัน การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวัดการคลายความเค้นของวัสดุพอลิเมอร์เทอร์โมพลาสติกที่ผลิตโดย Smartee โดยตัดตัวอย่างจำนวน 12 ชิ้น (ขนาด 5 มม. × 9 มม.) จากบริเวณฟันตัดบน แบ่งออกเป็นกลุ่มที่ไม่เคยใช้ (n = 6) และกลุ่มที่สวมแล้ว 7 วัน (n = 6) การทดสอบดำเนินการโดยปิดบังข้อมูลโดยใช้เครื่อง DMA1 (Mettler-Toledo, กรีเฟนซี, สวิตเซอร์แลนด์) ที่อุณหภูมิ 37°C โดยทำให้แต่ละตัวอย่างเปลี่ยนรูปคงที่ 0.3 มม. บันทึกผลและวิเคราะห์ตลอด 1 ชั่วโมง โดยใช้ซอฟต์แวร์ STARe ผลลัพธ์ แรง 0.32 ± 0.09 นิวตัน สำหรับกลุ่มที่ไม่เคยใช้ และ 0.27 ± 0.09 นิวตัน สำหรับกลุ่มที่สวมแล้ว 7 วัน โดยมีค่าการคลายความเค้นเท่ากับ 2.41 ± 1.16 เมกะปาสคาล และ 2.00 ± 0.15 เมกะปาสคาล ตามลำดับ การเปรียบเทียบทางสถิติโดยใช้การทดสอบทีแบบอิสระ (independent t-test) แสดงให้เห็นว่า ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทั้งแรงและความเค้น ($p > 0.05$) โดยสรุป ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทั้งแรงและความเค้นระหว่างวัสดุเครื่องมือจัดฟันแบบใส Smartee กลุ่มที่ไม่เคยใช้และที่สวมแล้ว 7 วัน

คำสำคัญ: วัสดุเทอร์โมพลาสติกสำหรับทันตกรรมจัดฟัน, สมบัติทางกล, การคลายความเค้น, เครื่องจัดฟันแบบใส

ข้อมูลการอ้างอิง: อริสา ทรัพย์สุดวิไล, ชิดชนก ลีธนะกุล, หทัยชนก เจริญพงศ์ และ อภิชาต วีรวัฒนาธิกุล. (2569). การคลายความเค้นของวัสดุเครื่องมือจัดฟันแบบใส Smartee. *Procedia of Multidisciplinary Research, 4*(3), 32

บทนำ

การใช้เครื่องมือจัดฟันแบบใสในการรักษาทางทันตกรรมจัดฟันเติบโตขึ้นอย่างมากในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา เครื่องมือจัดฟันแบบใสส่วนใหญ่ทำจากพอลิเมอร์เทอร์โมพลาสติก โดยพอลิยูรีเทน (PU) และพอลิเอทิลีน เทเรฟทาเลต ไกลคอล (PETG) เป็นตัวเลือกที่พบบ่อย (Bichu et al., 2023) หลายๆยี่ห้อได้พัฒนาวัสดุหลายชั้นเฉพาะของตนเอง ตัวอย่างเช่น Invisalign ใช้วัสดุ LD30 หรือ SmartTrack ซึ่งเป็นวัสดุฐาน PU ที่ออกแบบมาเพื่อให้ความยืดหยุ่นและแรงที่สม่ำเสมอ (Condo et al., 2018)

แม้ว่าจะมีการศึกษาที่วัดสมบัติเชิงกลของเครื่องมือจัดฟันแบบใสแต่ยังไม่มีการศึกษาใดที่ศึกษาความแตกต่างของการคลายความเค้นระหว่างเครื่องมือจัดฟันแบบใส Smartee ที่ไม่เคยใช้และที่ผู้ป่วยสวมมาแล้ว โดยใช้เครื่องวัดสมบัติทางกลเชิงพลวัต (Dynamic Mechanical Analyzers: DMA) ที่อุณหภูมิ 37°C ซึ่งจำลองสภาวะในช่องปาก

การทบทวนวรรณกรรม

Smartee เป็นยี่ห้อเครื่องมือจัดฟันแบบใส ก่อตั้งในปี 2004 โดยในปี 2020 บริษัทได้เปิดตัววัสดุพอลิเมอร์หลายชั้นของตนเอง ชื่อว่า Diamond II ซึ่งประกอบด้วยแกนกลางพอลิยูรีเทนที่อยู่ระหว่างชั้น PETG สองชั้นด้านนอก Diamond II ให้แรงที่สม่ำเสมอ ความแข็ง ความยืดหยุ่น ความสามารถในการฟื้นตัว และความทนทานต่อการสึกหรอที่เหนือกว่าวัสดุอื่นๆ เครื่องมือจัดฟันแบบใสรุ่นปัจจุบันของ Smartee ทำจากเทอร์โมพลาสติกหลายชั้นที่เรียกว่า Smartee Platinum ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อสร้างสมดุลระหว่างความแข็งแรงและความยืดหยุ่น เพื่อส่งแรงจัดฟันที่คงที่ในขณะที่สวมใส่ (Xiang et al., 2021)

สมบัติเชิงวิสโคเอลาสติกของพอลิเมอร์เทอร์โมพลาสติก โดยเฉพาะอย่างยิ่งการคลายความเค้น มีความสำคัญต่อประสิทธิภาพของการรักษา การคลายความเค้นหมายถึงปรากฏการณ์ที่วัสดุวิสโคเอลาสติกเกิดการลดลงของความเค้นอย่างค่อยเป็นค่อยไปเมื่อวัสดุถูกทำให้เปลี่ยนรูปคงที่ ปรากฏการณ์นี้มีความสำคัญต่อประสิทธิผลของเครื่องมือจัดฟันแบบใส เนื่องจากทำให้เกิดการลดลงของแรงที่กระทำต่อฟันเมื่อสวมเครื่องมือจัดฟันแบบใส (Bichu et al., 2023; Zhang et al., 2011; Upadhyay et al., 2022) ในขณะที่การรักษาแรงให้คงที่เป็นสิ่งพึงประสงค์ในทันตกรรมจัดฟัน แต่เครื่องมือจัดฟันแบบใสไม่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ แรงที่ส่งจากเครื่องมือจัดฟันแบบใสมีแนวโน้มลดลงแบบเอกซ์โพเนนเชียล โดยเฉพาะในชั่วโมงแรกๆ ของการใช้งาน ซึ่งบ่งชี้ถึงความล้าของวัสดุ (Lombardo et al., 2017) ในทางตรงกันข้าม ลวดจัดฟันนิกเกิล-ไททาเนียมยังคงมีประสิทธิภาพอยู่เป็นสัปดาห์ (Berger et al., 2007) และการลดลงของแรงนี้ควรถูกนำมาพิจารณาเมื่อวางแผนการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันแบบใส (Simon et al., 2014; Chisari et al., 2011)

การศึกษาโดย Fang et al. (2020) ใช้การวิเคราะห์สมบัติทางกลเชิงพลวัต (DMA) เพื่อทดสอบการคลายความเค้นของเครื่องมือจัดฟันแบบใส Invisalign (LD30) ระหว่างกลุ่มที่ไม่เคยใช้และที่สวมแล้ว 14 วัน โดยตัดมาจากเครื่องมือจัดฟันแบบใสบริเวณกลางของฟันตัดบนจำนวน 10 ตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทั้ง 2 กลุ่ม

Shirey et al. (2023) เปรียบเทียบการคลายความเค้นระหว่างวัสดุเครื่องมือจัดฟันแบบใส Invisalign (EX30 และ LD30) และวัสดุที่ใช้สำหรับการพิมพ์ 3 มิติ (Material X และ OD-Clear TF) ทั้งในสภาวะแห้งและสภาวะจำลองสภาพแวดล้อมในช่องปาก โดยทดสอบกลุ่มละ 3 ตัวอย่าง ผลการศึกษาพบว่า วัสดุที่ใช้สำหรับการพิมพ์ 3 มิติ มีการคลายความเค้นมากกว่าวัสดุ EX30 และ LD30 อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ได้รับการรับรองจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ (EC6804-015) ขั้นตอนการวิจัยทั้งหมดเป็นไปตามระเบียบข้อบังคับทางจริยธรรมของสถาบันและประเทศ และสอดคล้องกับหลักการของปฏิญญาเฮลซิงกิ (2013)

ตัวอย่างจำนวน 12 ชิ้น จากเครื่องมือจัดฟันแบบใส Smartee ซึ่งทำจากเทอร์โมพลาสติกหลายชั้นเฉพาะของบริษัท ถูกเก็บรวบรวมและสุ่มมาจากสองกลุ่ม คือ เครื่องมือจัดฟันแบบใสที่ไม่เคยใช้ และเครื่องมือจัดฟันแบบใสที่สวมแล้ว 7 วัน เกณฑ์การคัดเลือกต้องการผู้ป่วยที่มีฟันตัดหน้าบนถาวรขึ้นเต็มที่ และมีแผนการเคลื่อนฟัน 0.2-0.25 มม. โดยไม่มีปุ่มเคลื่อนฟัน (attachment) บนฟันตัดหน้า และมีความร่วมมือในการสวมใส่ที่ดี

ผู้ป่วยที่มีอาการแพ้เทอร์โมพลาสติก ไม่มีฟันตัดหน้า มีความผิดปกติของขากรรไกรและข้อต่อขมับ หรือมีโรคทางระบบจะถูกคัดออก

ตัวอย่างขนาด 5 × 9 มม. ตัดมาจากบริเวณกลางของฟันตัดบนโดยใช้กรรไกรคม ตัวอย่าง 6 ชิ้น ถูกจัดเข้าสู่แต่ละกลุ่ม การทดสอบการคลายความเค้นดำเนินการโดยใช้เครื่อง DMA1 ภายใต้สภาวะจำลองในช่องปาก (37°C) โดยทำให้เปลี่ยนรูปคงที่ 0.3 มม. และบันทึกการลดลงของแรงและความเค้นตลอดหนึ่งชั่วโมง ผลลัพธ์ถูกคำนวณและแสดงโดยใช้โปรแกรมซอฟต์แวร์ STARe ผู้ทำการทดลองไม่ทราบข้อมูลของตัวอย่างตลอดการทดสอบและการวิเคราะห์

ผลลัพธ์ได้รับการวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้การทดสอบ Shapiro-Wilk เพื่อประเมินการแจกแจงปกติ หากข้อมูลมีการแจกแจงปกติ ผลลัพธ์ระหว่างแต่ละกลุ่ม (ไม่เคยใช้และสวมแล้ว 7 วัน) จะถูกเปรียบเทียบโดยใช้การทดสอบทีแบบตัวอย่างอิสระ (independent samples t-test) หากข้อมูลไม่มีการแจกแจงปกติ จะใช้การทดสอบ Mann-Whitney U การวิเคราะห์ทางสถิติทั้งหมดดำเนินการโดยใช้ซอฟต์แวร์ SPSS (เวอร์ชัน 29.0, IBM Corp., อาร์มอนค์, นิวยอร์ก, สหรัฐอเมริกา)

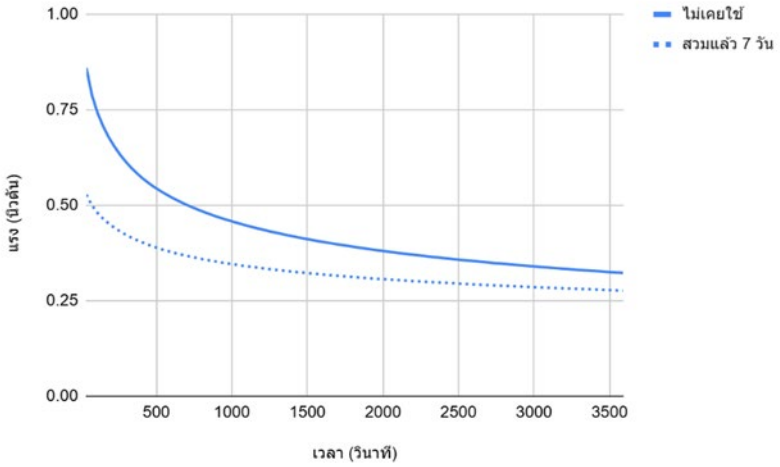
ผลการวิจัย

ความหนาเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน คือ 0.7 ± 0.17 มม. สำหรับกลุ่มที่ไม่เคยใช้ และ 0.61 ± 0.11 มม. สำหรับกลุ่มที่สวมแล้ว 7 วัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างทั้งสองกลุ่ม ($p > 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 1

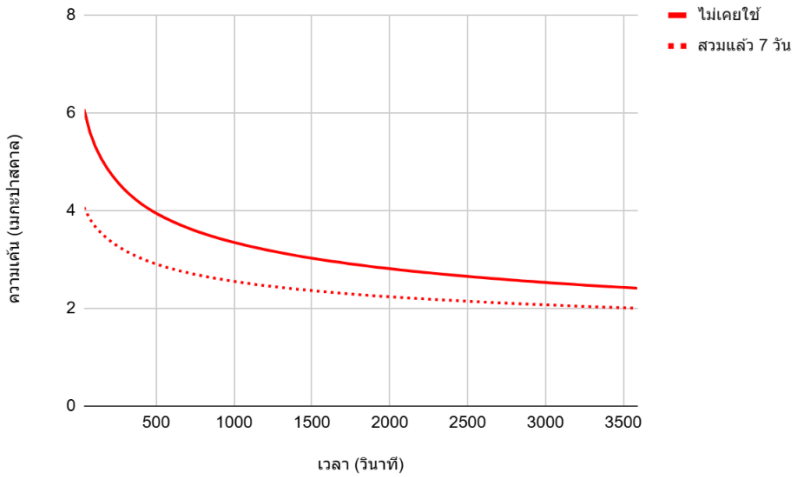
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบความหนาระหว่างเครื่องมือจัดฟันแบบใสที่ไม่เคยใช้และที่สวมแล้ว 7 วัน

กลุ่มตัวอย่าง	ความหนา (มม.)
ไม่เคยใช้	0.7 ± 0.17
สวมแล้ว 7 วัน	0.61 ± 0.11
p-value	0.337

การเปรียบเทียบความหนาระหว่างเครื่องมือจัดฟันแบบใสที่ไม่เคยใช้และที่สวมแล้ว 7 วัน ข้อมูลแสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ค่า p แสดงผลลัพธ์ของการทดสอบ Mann-Whitney U ($p < 0.05$)



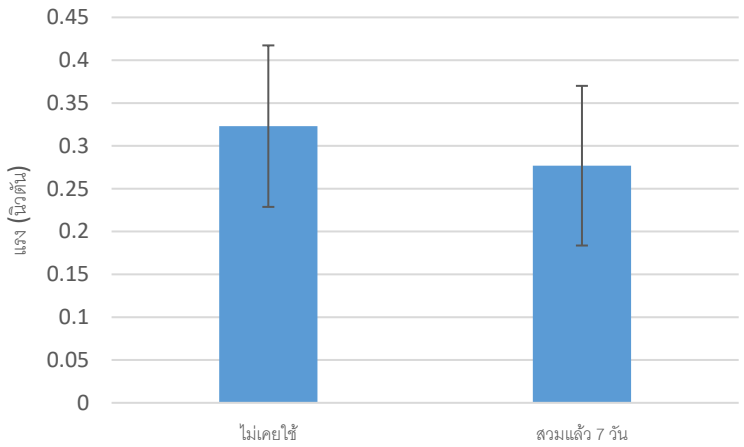
ภาพที่ 1 กราฟแสดงการลดลงของแรงในกลุ่มที่ไม่เคยใช้และกลุ่มที่สวมแล้ว 7 วัน



ภาพที่ 2 กราฟแสดงการคลายความเค้นในกลุ่มที่ไม่เคยใช้และกลุ่มที่สวมแล้ว 7 วัน

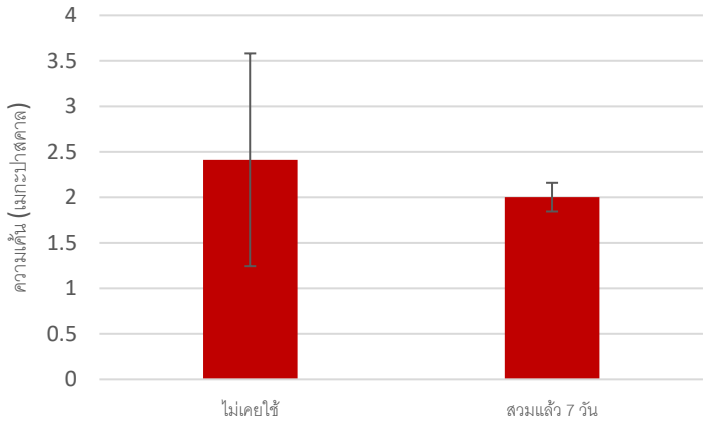
แรงเริ่มต้น คือ 0.86 ± 0.37 นิวตัน สำหรับกลุ่มที่ไม่เคยใช้ และ 0.52 ± 0.19 นิวตัน สำหรับกลุ่มที่สวมแล้ว 7 วัน การทดสอบทีแบบอิสระแสดงให้เห็นว่า แรงเริ่มต้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างทั้ง 2 กลุ่ม ($p > 0.05$) ความเค้นเริ่มต้น คือ 6.07 ± 2.97 เมกะปาสคาล สำหรับกลุ่มที่ไม่เคยใช้ และ 4.07 ± 1.79 เมกะปาสคาล สำหรับกลุ่มที่สวมแล้ว 7 วัน การทดสอบทีแบบอิสระแสดงให้เห็นว่า ความเค้นเริ่มต้นไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างทั้ง 2 กลุ่ม ($p > 0.05$) กราฟแสดงแรงและความเค้นแสดงให้เห็นการลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงไม่กี่นาทีแรก ดังแสดงในภาพที่ 1 และ 2

แรงและการคลายความเค้นของเครื่องมือจัดฟันแบบใส Smartee ที่ไม่เคยใช้และที่สวมแล้ว 7 วัน ถูกประเมินโดยการวัดแรงและความเค้นตลอด 1 ชั่วโมง ผลลัพธ์หลังจาก 1 ชั่วโมง แสดงเป็นค่าเฉลี่ย ± ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน และแสดงในภาพที่ 3 และ 4



ภาพที่ 3 แรงคงเหลือหลังจาก 1 ชั่วโมงในกลุ่มที่ไม่เคยใช้และกลุ่มที่สวมแล้ว 7 วัน

แรงคงเหลือหลังจาก 1 ชั่วโมง คือ 0.32 ± 0.09 นิวตัน และ 0.27 ± 0.09 นิวตัน ตามลำดับ การทดสอบทีแบบอิสระแสดงให้เห็นว่า ระหว่างเครื่องมือจัดฟันแบบใสที่ไม่เคยใช้และที่สวมแล้ว 7 วัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับแรงคงเหลือ ($p > 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 3



ภาพที่ 4 ความเค้นเริ่มต้นและความเค้นคงเหลือหลังจาก 1 ชั่วโมงในกลุ่มที่ไม่เคยใช้และกลุ่มที่สวมแล้ว 7 วัน

ความเค้นคงเหลือหลังจาก 1 ชั่วโมง คือ 2.41 ± 1.16 เมกะปาสคาล และ 2.00 ± 0.15 เมกะปาสคาล ตามลำดับ การทดสอบทีแบบอิสระแสดงให้เห็นว่าระหว่างเครื่องมือจัดฟันแบบใสที่ไม่เคยใช้และที่สวมแล้ว 7 วัน ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติสำหรับความเค้นคงเหลือ ($p > 0.05$) ดังแสดงในภาพที่ 4

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

ช่วงแรงที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันด้วยเครื่องมือจัดฟันแบบติดแน่นคือ 0.5-1 นิวตัน (Theodorou et al., 2019) ในขณะที่ Proffit et al. (2019) เสนอว่า แรง 35-60 กรัม (ประมาณ 0.35-0.6 นิวตัน) ก็เพียงพอสำหรับการเคลื่อนแบบ tipping แรงเริ่มต้นที่วัดได้ในการศึกษานี้อยู่ในช่วงที่เหมาะสมนี้ อย่างไรก็ตาม มากกว่าครึ่งหนึ่งของแรงเริ่มต้นลดลงเมื่อเวลาผ่านไป และแรงคงเหลือต่ำกว่าเกณฑ์ที่เหมาะสมสำหรับการเคลื่อนฟันทางทันตกรรมจัดฟันเล็กน้อยในทั้งสองกลุ่ม การลดลงของแรงที่สังเกตได้นี้เป็นผลมาจากปรากฏการณ์การคลายความเค้นของวัสดุพอลิเมอร์อย่างชัดเจน

การศึกษาในอดีตทดสอบการคลายความเค้นของพอลิเมอร์เทอร์โมพลาสติกในแผ่นวัสดุชั้นเดียวแบบแบนราบที่ยังไม่ผ่านกระบวนการขึ้นรูปด้วยความร้อน (Zhang et al., 2011; Fang et al., 2013; Lombardo et al., 2017; Albertini et al., 2022) อย่างไรก็ตาม วัสดุชั้นเดียวดังกล่าวไม่ได้เป็นตัวแทนของเครื่องมือจัดฟันแบบใสที่ใช้ทางคลินิก เนื่องจากหลายยี่ห้อในตลาด (เช่น Smartee, Invisalign) ในปัจจุบันใช้วัสดุหลายชั้นเฉพาะเพื่อให้ได้สมบัติทางกลที่ดีขึ้น (Bichu et al., 2023; Upadhyay et al., 2022) ในทางตรงกันข้าม การศึกษาโดย Fang et al. (2020) และ Shirey et al. (2023) ใช้การวิเคราะห์สมบัติทางกลเชิงพลวัต (DMA) เพื่อทดสอบการคลายความเค้นโดยการทดสอบตัวอย่างที่ตัดจากเครื่องมือจัดฟันแบบใส Invisalign (LD30) ที่ผู้ป่วยสวมจริง ผลลัพธ์ของพวกเขายืนยันว่าความเค้นลดลงอย่างรวดเร็วเนื่องจากการคลายความเค้นในตัวอย่างที่เกี่ยวข้องกับทางคลินิกเหล่านี้เช่นกัน

ทันตแพทย์มักแนะนำให้ผู้ป่วยสวมเครื่องมือจัดฟันแบบใสแต่ละชุดเป็นเวลา 7 วันก่อนเปลี่ยนไปใช้ชุดถัดไป เนื่องจากมีการศึกษาชี้ให้เห็นว่าช่วงเวลาดังกล่าวให้ประสิทธิผลทางคลินิกที่ดีและผลข้างเคียงน้อยที่สุด (Al-Nadawi et al., 2021) ผลลัพธ์ของการศึกษานี้แสดงให้เห็นว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแรงหรือความเค้นระหว่างกลุ่มเครื่องมือจัดฟันแบบใสที่ไม่เคยใช้และที่สวมแล้ว 7 วัน เช่นเดียวกับการศึกษาโดย Fang et al. (2020) ซึ่งทดสอบการคลายความเค้นในเครื่องมือจัดฟันแบบใส Invisalign (LD30) พบว่าไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญระหว่างกลุ่มที่ไม่เคยใช้และที่สวมแล้ว 14 วัน ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าปัจจัยด้านสภาพแวดล้อมในช่องปาก เช่น การสัมผัสน้ำลาย ความผันผวนของอุณหภูมิจากอาหารและเครื่องดื่ม และแรงจากการบดเคี้ยว ไม่ส่งผลเสียต่อสมบัติทางกลของเครื่องมือจัดฟันแบบใสและไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพทางคลินิก

โปรโตคอลการสวมใส่ที่แนะนำ คือ อย่างน้อย 20 ถึง 22 ชั่วโมงต่อวัน อย่างไรก็ตาม ในทางปฏิบัติ ผู้ป่วยมักถอดเครื่องมือจัดฟันแบบใสออกเพื่อรับประทานอาหาร ส่งผลให้มีช่วงเวลาการสวมใส่ต่อเนื่องเพียงประมาณ 4-6 ชั่วโมง อย่างไรก็ตาม การศึกษาโดย Albertini et al. (2022) ได้ศึกษาการคลายความเค้นของพอลิเมอร์เทอร์โมพลาสติกเป็นระยะเวลา 14 วัน พบว่า ความเค้นลดลงอย่างรวดเร็วในช่วงแรกและจะลดลงในอัตราที่น้อยลงจนเข้าสู่ระยะคงที่ในเวลาต่อมา ดังนั้นจึงไม่จำเป็นต้องทดสอบต่อเนื่องเป็นระยะเวลาเทียบเท่ากับที่ผู้ป่วยสวมใส่จริง

โดยปกติแผนการเคลื่อนฟันกำหนดการขยับของฟันแต่ละซี่ที่ 0.2-0.25 มม. ต่อชิ้นงาน แต่เนื่องจากการทดสอบนำร่องโดยกำหนดให้ตัวอย่างเปลี่ยนรูปคงที่ 0.2-0.25 มม.พบว่า เครื่อง DMA1 ไม่สามารถวัดค่าแรงและความเค้นในบางตัวอย่างได้ ผู้วิจัยจึงกำหนดให้เปลี่ยนรูปคงที่ 0.3 มม. ซึ่งเป็นค่าที่ใกล้เคียงกับในทางคลินิก

ความหนาจริงของตัวอย่างในตารางที่ 1 น้อยกว่าที่ผู้ผลิตระบุไว้ (0.75 มม.) ความคลาดเคลื่อนนี้อาจเกิดจากกระบวนการผลิต ซึ่งแผ่นพอลิเมอร์แบนราบถูกทำให้ร้อนและทำให้แนบเข้ากับโมเดลที่พิมพ์แบบ 3 มิติ ส่งผลให้เกิดความหนาของเครื่องมือจัดฟันแบบใสที่ไม่สม่ำเสมอ (Bichu et al., 2023; Upadhyay et al., 2022) ความหนาของเครื่องมือจัดฟันแบบใสมีอิทธิพลต่อความยืดหยุ่น ซึ่งจะส่งผลต่อแรงและความเค้นที่เกิดขึ้นภายใต้การเปลี่ยนรูปในปริมาณเท่ากัน ความแปรผันของความหนานำไปสู่ช่วงของค่าแรงและความเค้นที่กว้าง แม้ว่าความแตกต่างจะไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ผู้วิจัยขอแนะนำให้เพิ่มขนาดตัวอย่างเพื่อทำความเข้าใจความสัมพันธ์ระหว่างแรง ความเค้น และระยะเวลาการสวมใส่เครื่องมือจัดฟันแบบใสให้ดีขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาถึงความแปรผันของความหนาเครื่องมือจัดฟันแบบใสในตัวอย่างที่สุ่มเลือกมาจากผู้ป่วย

สรุป ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญของแรงและการคลายความเค้นระหว่างวัสดุเครื่องมือจัดฟันแบบใส Smartee ที่ไม่เคยใช้และที่สวมแล้ว 7 วัน ดังนั้น เครื่องมือจัดฟันแบบใส Smartee อาจสามารถรักษาการออกแรงที่สม่ำเสมอและประสิทธิภาพทางคลินิกไว้ได้หลังจากใช้งานหนึ่งสัปดาห์

เอกสารอ้างอิง

Albertini, P., Mazzanti, V., Mollica, F., Pellitteri, F., Palone, M., & Lombardo, L. (2022). Stress Relaxation Properties of Five Orthodontic Aligner Materials: A 14-Day In-Vitro Study. *Bioengineering, 9*(8).

Al-Nadawi, M., Kravitz, N. D., Hansa, I., Makki, L., Ferguson, D. J., & Vaid, N. R. (2021). Effect of clear aligner wear protocol on the efficacy of tooth movement. *The Angle orthodontist, 91*(2), 157-163.

Berger, J., & Waram, T. (2007). Force levels of nickel titanium initial archwires. *Journal of clinical orthodontics: JCO, 41*(5), 286-292.

Bichu, Y. M., Alwafi, A., Liu, X., Andrews, J., Ludwig, B., Bichu, A. Y., & Zou, B. (2023). Advances in orthodontic clear aligner materials. *Bioactive Materials, 22*, 384-403.

Chisari, J. R., McGorray, S. P., Nair, M., & Wheeler, T. T. (2014). Variables affecting orthodontic tooth movement with clear aligners. *American journal of orthodontics and dentofacial orthopedics: official publication of the American Association of Orthodontists, its constituent societies, and the American Board of Orthodontics, 145*(4 Suppl), S82-S91.

Condo', R., Pazzini, L., Cerroni, L., Pasquantonio, G., Lagana', G., Pecora, A., Mussi, V., Rinaldi, A., Mecheri, B., Licoccia, S., & Maiolo, L. (2018). Mechanical properties of "two generations" of teeth aligners: Change analysis during oral permanence. *Dental Materials Journal, 37*(5), 835-842.

Fang, D., Zhang, N., Chen, H., & Bai, Y. (2013). Dynamic stress relaxation of orthodontic thermoplastic materials in a simulated oral environment. *Dental Materials Journal, 32*(6), 946-951.

Fang, D., Li, F., Zhang, Y., Bai, Y., & Wu, B. M. (2020). Changes in mechanical properties, surface morphology, structure, and composition of Invisalign material in the oral environment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 157*(6), 745-753.

Lombardo, L., Martines, E., Mazzanti, V., Arreghini, A., Mollica, F., & Siciliani, G. (2017). Stress relaxation properties of four orthodontic aligner materials: A 24-hour in vitro study. *Angle Orthodontist, 87*(1).

Proffit, W. R., Fields, H. W., Larson, B. E., & Sarver, D. M. (2019). *Contemporary orthodontics*. 6th ed. Elsevier.

Shirey, N., Mendonca, G., Groth, C., & Kim-Berman, H. (2023). Comparison of mechanical properties of 3-dimensional printed and thermoformed orthodontic aligners. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 163*(5), 720-728.

Simon, M., Keilig, L., Schwarze, J., Jung, B. A., & Bourauel, C. (2014). Forces and moments generated by removable thermoplastic aligners: Incisor torque, premolar derotation, and molar distalization. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 145*(6), 728-736.

Theodorou, C. I., Kuijpers-Jagtman, A. M., Bronkhorst, E. M., & Wagener, F. A. D. T. G. (2019). Optimal force magnitude for bodily orthodontic tooth movement with fixed appliances: A systematic review. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics, 156*(5), 582-592.

Upadhyay, M., & Arqub, S. A. (2022). Biomechanics of clear aligners: hidden truths & first principles. *Journal of the World Federation of Orthodontists, 11*(1), 12-21.

World Medical Association. (2013). Declaration of Helsinki: ethical principles for medical research involving human subjects. *JAMA; 310*(20), 2191-4.

Xiang, B., Wang, X., Wu, G., Xu, Y., Wang, M., Yang, Y., & Wang, Q. (2021). The force effects of two types of polyethylene terephthalate glycol modified clear aligners immersed in artificial saliva. *Scientific Reports, 11*(1).

Zhang, N., Bai, Y., Ding, X., & Zhang, Y. (2011). Preparation and characterization of thermoplastic materials for invisible orthodontics. *Dental Materials Journal, 30*(6), 954-959.

Data Availability Statement: The raw data supporting the conclusions of this article will be made available by the authors, without undue reservation.

Conflicts of Interest: The authors declare that the research was conducted in the absence of any commercial or financial relationships that could be construed as a potential conflict of interest.

Publisher's Note: All claims expressed in this article are solely those of the authors and do not necessarily represent those of their affiliated organizations, or those of the publisher, the editors and the reviewers. Any product that may be evaluated in this article, or claim that may be made by its manufacturer, is not guaranteed or endorsed by the publisher.

Copyright: © 2026 by the authors. This is a fully open-access article distributed under the terms of the Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 International (CC BY-NC-ND 4.0).