

ASSOCIATION BETWEEN ANTERIOR TOOTH MOVEMENT ASSESSMENT INDICATORS AND NUMBER OF REFINEMENT SETS IN INVISALIGN TREATMENT

Praewa SINPOONPAK^{1*}, Chairat CHAROEMRATROTE¹ and Suchada LIMSIRIWONG²

1 Orthodontic section, Department of Preventive Dentistry, Faculty of Dentistry, Prince of Songkla University, Thailand; 6710820009@psu.ac.th (P. S.) (Corresponding author)

2 Department of Orthodontics, College of Dental Medicine, Rangsit University, Thailand

ABSTRACT

Objective: To evaluate the association between anterior tooth movement assessment indicators using the Tooth Movement Assessment (TMA) function and the number of refinement sets required during Invisalign treatment. **Materials and Methods:** This retrospective analytical study included 140 patients treated with Invisalign. Clinical characteristics compliance record and extraction plan were collected from treatment records. Number of refinement sets and number of anterior tooth movement indicators were obtained from ClinCheck software utilized Tooth Movement Assessment (TMA) function and classified by movement type and complexity level (moderate and advanced indicators). Poisson regression was used to evaluate the association between anterior tooth movement indicators and the number of refinement sets. **Results:** Moderate anterior mesiodistal root movement indicators were significantly associated with an increased number of refinement sets ($p < 0.001$). Advanced anterior mesiodistal root movement indicators were also significantly associated with the number of refinement sets ($p = 0.012$). **Conclusion:** Moderate and advanced anterior mesiodistal root movement indicators were significantly associated with the number of Invisalign refinement sets. These findings may help clinicians assess the tendency of refinement requirements during Invisalign treatment planning.

Keywords: Clear Aligners, Invisalign®, Orthodontic Refinement, Type of Tooth Movement

CITATION INFORMATION: Sinpoonpak, P., Charoemratrote, C., & Limsiriwong, S. (2026). Association Between Anterior Tooth Movement Assessment Indicators and Number of Refinement Sets in Invisalign Treatment. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(7), 39.

ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีระบุการเคลื่อนฟันหน้าที่ระดับความซับซ้อนต่าง ๆ ต่อการเพิ่มจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมในการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันถอดได้แบบใส

แพรวา สีนพูนภักดี^{1*}, ไชยรัตน์ เณิมรัตนโรจน์¹ และ สุชาดา หลิมศิริวงษ์²

- 1 อนุสาขาทันตกรรมจัดฟัน สาขาวิชาทันตกรรมป้องกัน คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์; 6710820009@psu.ac.th (แพรวา) (ผู้ประพันธ์บทความ)
- 2 สาขาวิชาทันตกรรมจัดฟัน วิทยาลัยทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีระบุการเคลื่อนฟันหน้าที่ระดับความซับซ้อนต่างๆ (anterior tooth movement complexity indicators) และจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติม (refinement sets) ในการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันอินวิสไลน์ (Invisalign) **วิธีดำเนินการวิจัย** ศึกษาย้อนหลังในกลุ่มตัวอย่างที่รับการรักษารักษาอินวิสไลน์ 140 ราย เก็บข้อมูลลักษณะทางคลินิก การให้ความร่วมมือของผู้ป่วย และแผนการถอนฟันจากบันทึกการรักษา ข้อมูลจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติม และข้อมูลจำนวนดัชนีระบุการเคลื่อนฟันหน้าได้จากการนับดัชนีประเมินการเคลื่อนฟันจากโปรแกรมคลินเช็ก (ClinCheck) โดยจำแนกตามชนิดการเคลื่อนฟันห้าชนิดที่ระดับความซับซ้อนสองระดับทั้งระดับปานกลางและระดับซับซ้อน โดยวิเคราะห์ข้อมูลด้วยการวิเคราะห์ถดถอยปัวซอง (Poisson regression) **ผลการศึกษา** พบว่าดัชนีระบุการเคลื่อนรากฟันในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางระดับปานกลางของฟันหน้า (moderate mesiodistal root movement of anterior teeth) มีความสัมพันธ์กับจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.001$) เช่นเดียวกับดัชนีระดับซับซ้อน ($p = 0.012$) **สรุป** ดัชนีระบุการเคลื่อนรากฟันในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางของฟันหน้าทั้งระดับปานกลางและระดับซับซ้อน มีความสัมพันธ์กับจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมในการรักษาด้วยอินวิสไลน์ และอาจช่วยประเมินแนวโน้มของจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมในการวางแผนรักษาด้วยอินวิสไลน์ **คำสำคัญ:** เครื่องมือจัดฟันถอดได้แบบใส, ชุดเครื่องมือจัดฟันใสเพิ่มเติม, เครื่องมือจัดฟันใสอินวิสไลน์, ชนิดของการเคลื่อนฟัน

ข้อมูลการอ้างอิง: แพรวา สีนพูนภักดี, ไชยรัตน์ เณิมรัตนโรจน์ และ สุชาดา หลิมศิริวงษ์. (2569). ความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีระบุการเคลื่อนฟันหน้าที่ระดับความซับซ้อนต่างๆ ต่อการเพิ่มจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมในการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันถอดได้แบบใส. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 4(7), 39.

บทนำ

การรักษาจัดฟันด้วยเครื่องมือถอดได้แบบใส (clear aligner therapy) ได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน แต่ผลการรักษายังคงมีความแปรปรวน และไม่แม่นยำตามภาพจำลองสามมิติในโปรแกรมวางแผนทั้งหมด โดยผลสำเร็จของการรักษาอาจถูกรบกวนจากหลายปัจจัย เช่น อายุและความร่วมมือของผู้ป่วย ชนิดของวัสดุ ประสิทธิภาพและวิธีการวางแผนการรักษาของทันตแพทย์ และอีกหนึ่งปัจจัยที่สำคัญ คือ ชนิดของการเคลื่อนฟัน โดยการเคลื่อนฟันบางชนิด เช่น การดึงฟันออกจากกระดูกเบ้าฟัน (extrusion) การกดฟันเข้าในกระดูกเบ้าฟัน (intrusion) การควบคุมแนวเอียงของรากฟัน (control of root inclination) และการหมุนฟัน (rotation) ทำได้ยากและมีความแม่นยำน้อยกว่า (Grünheid และคณะ, 2017; Bilello และคณะ, 2022) หลังการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันถอดได้แบบใสชุดแรก (initial aligners) พบว่าผู้ป่วยส่วนมากจะยังคงมีความผิดปกติของการสบฟัน จึงต้องมีการทำชุดเครื่องมือเพิ่มเติม (refinement sets) เพื่อรักษาต่อให้ได้ผลการสบฟันปกติตามเป้าหมาย

โปรแกรมคลินิกเช็ก (ClinCheck) ของเครื่องมือจัดฟันแบบใสระบบบิโนวิสไลน์ (Invisalign) มีฟังก์ชันการประเมินการเคลื่อนฟัน (Tooth Movement Assessment: TMA) ซึ่งแสดงดัชนีระดับความซับซ้อนของการเคลื่อนฟันแต่ละซี่ (tooth movement complexity indicators) ปรากฏเป็นจุดสีในโปรแกรม อย่างไรก็ตามหลักฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีจากฟังก์ชัน TMA กับจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมยังมีจำกัด ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่าง ดัชนีระบุการเคลื่อนฟันหน้าที่ระดับความซับซ้อนต่างๆ จากฟังก์ชัน TMA และ จำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติม ในการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันใสอินวิสไลน์

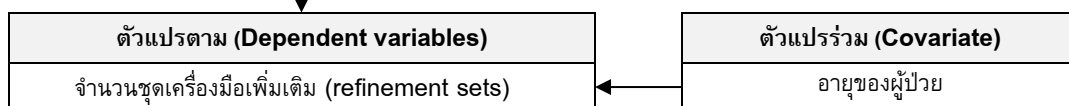
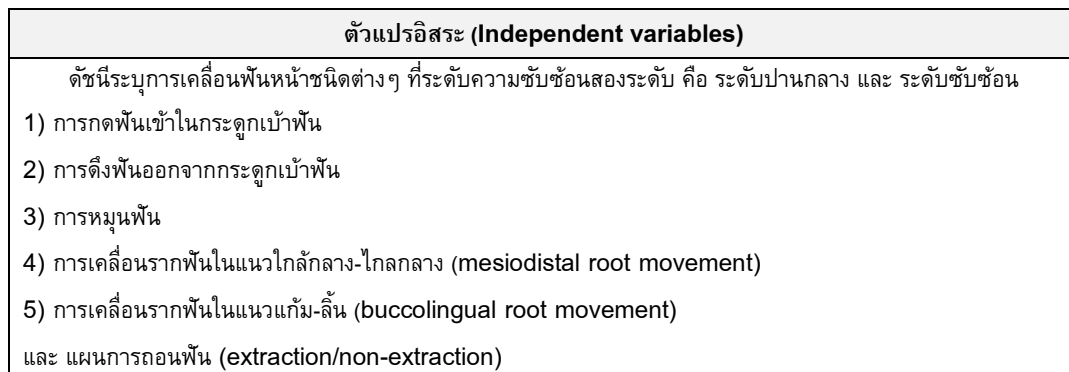
การทบทวนวรรณกรรม

การรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันถอดได้แบบใสได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน จากการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ พบว่ายังไม่สามารถสรุปประสิทธิภาพของเครื่องมือจัดฟันถอดได้แบบใสตามหลักฐานเชิงประจักษ์ได้ เครื่องมือสามารถเรียงฟันในกลุ่มผู้ป่วยที่หมดการเจริญเติบโตได้ โดยมีความแม่นยำในการเคลื่อนฟันแต่ละชนิดไม่เท่ากัน มีประสิทธิภาพในการกดฟันหน้าเข้ากระดูกเบ้าฟันได้ใกล้เคียงกับเครื่องมือแบบติดแน่น แต่มีประสิทธิภาพน้อยกว่าในการดึงฟันออกจากกระดูกเบ้าฟัน และยังคงเคลื่อนฟันแบบหมุนฟันได้ยาก (Rossini และคณะ, 2015) ความแม่นยำของการเคลื่อนฟันด้วยเครื่องมือจัดฟันถอดได้แบบใสแตกต่างกันตามชนิดการเคลื่อนฟัน โดยการเคลื่อนฟันบางรูปแบบ เช่น การกดฟันเข้าในกระดูกเบ้าฟัน การดึงฟันออกจากกระดูกเบ้าฟัน การหมุนฟัน และการควบคุมตำแหน่งรากฟัน อาจมีข้อจำกัดด้านการคาดการณ์ผลลัพธ์ ความแตกต่างระหว่างงานวิจัยอาจเกี่ยวข้องกับวัสดุ เทคโนโลยี แนวทางการวางแผนการรักษา และความร่วมมือของผู้ป่วย จึงอาจทำให้ความซับซ้อนของการเคลื่อนฟันสัมพันธ์กับความจำเป็นในการใช้ชุดเครื่องมือเพิ่มเติม (Arqub และคณะ, 2022; Burashed, 2023; Grünheid และคณะ, 2017; Haouili และคณะ, 2020; Kravitz และคณะ, 2009; Kwon และคณะ, 2008) หลังการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันถอดได้แบบใสชุดแรกพบว่าผู้ป่วยส่วนมากจะยังคงมีความผิดปกติของการสบฟันหลงเหลืออยู่ จึงจำเป็นต้องใช้ชุดเครื่องมือเพิ่มเติม เพื่อให้ได้ผลการรักษาตามเป้าหมายมากกว่าร้อยละ 94 และมีจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมเฉลี่ย 2.5 ชุด โดยพบว่าผู้ป่วยที่อายุมากกว่าต้องการชุดเครื่องมือเพิ่มเติมมากกว่า การเพิ่มขึ้นของจำนวนครั้งที่ต้องส่งทำชุดเครื่องมือเพิ่มเติมจะเพิ่มระยะเวลาการรักษา ค่าใช้จ่าย และอาจส่งผลให้ความร่วมมือในการรักษาของผู้ป่วยลดลง (Kravitz และคณะ, 2023) การจัดฟันแบบใสด้วยระบบบิโนวิสไลน์มีการใช้โปรแกรมคลินิกเช็กเพื่อวางแผนการเคลื่อนฟันในโมเดลสามมิติ ซึ่งมีฟังก์ชันการประเมินการเคลื่อนฟัน แสดงดัชนีระดับความซับซ้อนของการเคลื่อนฟันแต่ละซี่ด้วยรหัสสีเพื่อระบุความซับซ้อนของการเคลื่อนฟันในระดับต่างๆ โดยสีน้ำเงินหมายถึงความซับซ้อนระดับปานกลาง และสีดาหมายถึงระดับซับซ้อน และยังขาดหลักฐานเกี่ยวกับความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีจากฟังก์ชัน TMA กับความจำเป็นในการใช้ชุดเครื่องมือเพิ่มเติมจำกัด ดังนั้นการศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่าง ดัชนีระบุการเคลื่อนฟันหน้าที่ระดับความซับซ้อนต่างๆ ต่อจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติม ในการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันใสอินวิสไลน์

สมมติฐานการวิจัย

H₀: ดัชนีระบุการเคลื่อนฟันหน้าที่ระดับความซับซ้อนต่างๆ และแผนการถอนฟัน ไม่มีความสัมพันธ์กับจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมในการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันใสอินวิสไลน์

กรอบแนวคิดการวิจัย



* เพื่อลดความแปรปรวนจากแนวทางการวางแผนการรักษา ข้อมูลในการศึกษาได้มาจากผู้ป่วยที่ได้รับการวางแผนการรักษาโดยทันตแพทย์จัดฟันคนเดียวกัน

ภาพที่ 1 กรอบแนวคิดการวิจัย

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้เป็นการศึกษาเชิงวิเคราะห์แบบย้อนหลัง (retrospective analytical study) โดยใช้ข้อมูลจากผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันใสอินวิสไลน์ในคลินิกทันตกรรมเอกชนแห่งหนึ่งในประเทศไทย มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่าง ดัชนีระบุการเคลื่อนฟันหน้าที่ระดับความซับซ้อนต่างๆ และ จำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมในการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันใสอินวิสไลน์ โดยกลุ่มตัวอย่างเป็นผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาโดยทันตแพทย์ที่มีความเชี่ยวชาญเพียงท่านเดียว คำนวณขนาดกลุ่มตัวอย่าง 140 คน เกณฑ์การคัดเข้า ได้แก่ ผู้ป่วยอายุ 12-60 ปี ไม่มีฟันน้ำนมในช่องปาก ที่ได้รับการรักษาจัดฟันด้วยเครื่องมือจัดฟันถอดได้แบบใสหรืออินวิสไลน์ตั้งแต่ปีพ.ศ. 2560 จนรักษาเสร็จสิ้น ไม่มีการเปลี่ยนไปจัดฟันด้วยเครื่องมือแบบติดแน่น ส่วนเกณฑ์การคัดออก ได้แก่ ผู้ป่วยที่มีประวัติไม่ให้ความร่วมมือในการใส่เครื่องมืออย่างเพียงพอ ผู้ป่วยที่ใช้เครื่องมือจัดฟันถอดได้แบบใสไม่ครบจำนวนชิ้น ผู้ป่วยที่มีการใช้เครื่องมือจัดฟันติดแน่นบางส่วนร่วมกับการจัดฟันแบบใส ผู้ป่วยที่มีการบูรณะฟันขนาดใหญ่เพิ่มเติมก่อนเริ่มการรักษาด้วยชุดเครื่องมือเพิ่มเติม ผู้ป่วยที่เข้าเกณฑ์การคัดเลือกจะมีการเก็บข้อมูลพื้นฐานและลักษณะทางคลินิก ได้แก่ อายุ และเพศ และเก็บข้อมูลจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติม และข้อมูลดัชนีระบุการเคลื่อนฟันหน้า โดยใช้ฟังก์ชัน TMA โดยตัวแปรอิสระ ตัวแปรตาม และตัวแปรร่วมดังแสดงในกรอบแนวคิดการวิจัย (ภาพที่ 1)

ทำการประเมินความน่าเชื่อถือภายในผู้ประเมินคนเดียวกัน (intra-examiner reliability) โดยสุ่มเลือกชุดข้อมูล ของกลุ่มตัวอย่าง 21 คนเพื่อเก็บข้อมูลชุดเดิมซ้ำโดยผู้ประเมินคนเดิม เว้นระยะจากการเก็บข้อมูลครั้งแรก 2 สัปดาห์ วิเคราะห์ความสอดคล้องด้วยค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ภายในชั้น (intraclass correlation coefficient: ICC)

ใช้การวิเคราะห์ทางสถิติด้วยตัวแบบการถดถอยแบบพัวซอง (Poisson regression) เพื่อประเมินความสัมพันธ์ระหว่าง ดัชนีระบุการเคลื่อนฟันหน้าที่ระดับความซับซ้อนต่างๆ และจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติม ($p < 0.05$) โดยทำการวิเคราะห์แบบตัวแปรเดียว (univariable analysis) เพื่อคัดเลือกตัวแปรเข้าสู่แบบจำลองหลายตัวแปร (multivariable model) จากนั้นใช้การวิเคราะห์แบบหลายตัวแปรร่วมกับการปรับอิทธิพลของอายุ (age-adjusted) โดยตรวจสอบภาวะ

overdispersion จากค่า Pearson chi-square/df และ deviance/df หากพบว่าข้อมูลมีค่าความแปรปรวนสูงกว่าค่าเฉลี่ย (overdispersion) จะพิจารณาใช้การวิเคราะห์ด้วยตัวแบบทวินามเชิงลบ (negative binomial regression) แทน

ผลการวิจัย

กลุ่มตัวอย่างทั้งหมด 140 ราย มีอายุเฉลี่ย 32.46 ± 10.22 ปี โดยส่วนใหญ่เป็นเพศหญิง 102 ราย คิดเป็นร้อยละ 72.9 และจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมมีค่าเฉลี่ย 1.54 ± 1.10 ชุด (ตารางที่ 1) การประเมินความน่าเชื่อถือภายในของผู้เก็บข้อมูลพบว่ามีค่าความน่าเชื่อถือระดับดีเยี่ยม (ICC > 0.9) ผลการตรวจสอบความเหมาะสมของแบบจำลองไม่พบหลักฐานว่าข้อมูลมีค่าความแปรปรวนสูงกว่าค่าเฉลี่ย โดยค่า deviance/df เท่ากับ 0.669 และ Pearson chi-square/df เท่ากับ 0.668

ตารางที่ 1 ข้อมูลพื้นฐานและลักษณะทางคลินิกของกลุ่มตัวอย่าง

ลักษณะของกลุ่มตัวอย่าง	
อายุ (ปี)	32.46 ± 10.22
เพศหญิง	102 (72.9%)
เพศชาย	38 (27.1%)
จำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมเฉลี่ย	1.54 ± 1.10

ผลการวิเคราะห์ถดถอยปัวซองแบบตัวแปรเดียวพบว่าปัจจัยที่มีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมได้แก่ ดัชนีระบุการเคลื่อนฟันแบบกดฟันเข้ากระดูกเบ้าฟันระดับปานกลาง ดัชนีระบุการหมุนฟันระดับปานกลางและระดับซับซ้อน และดัชนีระบุการเคลื่อนรากฟันหน้าในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางทั้งระดับปานกลางและระดับซับซ้อน จึงวิเคราะห์ตัวแปรข้างต้นในแบบจำลองหลายตัวแปรร่วมกับการปรับอิทธิพลของอายุ พบว่าดัชนีระบุการเคลื่อนรากฟันหน้าในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติม ดัชนีระบุการเคลื่อนรากฟันหน้าในระดับปานกลางในแนวใกล้กลาง-ไกลกลาง มีความสัมพันธ์กับจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีอัตราส่วนความเสี่ยงที่ปรับแล้ว (adjusted risk ratio) เท่ากับ 1.19 ที่ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ประมาณ 1.09-1.29 และค่า $p < 0.001$ หมายความว่า เมื่อจำนวนดัชนีดังกล่าวเพิ่มขึ้น 1 ตำแหน่ง จำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมจะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 19 นอกจากนี้ดัชนีระบุการเคลื่อนรากฟันหน้าในระดับซับซ้อนในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางมีความสัมพันธ์กับจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นกัน โดยมีอัตราส่วนความเสี่ยงที่ปรับแล้วเท่ากับ 1.15 ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ประมาณ 1.03-1.29 และค่า $p = 0.012$ หมายความว่า เมื่อจำนวนดัชนีดังกล่าวเพิ่มขึ้น 1 ตำแหน่ง จำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมที่คาดหวังจะเพิ่มขึ้นประมาณร้อยละ 15 ในขณะที่ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของอายุ การถอนหรือไม่ถอนฟัน ดัชนีระบุการกดฟันเข้าในกระดูกเบ้าฟันระดับปานกลางของฟันหน้า ดัชนีระบุการหมุนฟันระดับปานกลางของฟันหน้า และดัชนีระบุการหมุนฟันระดับซับซ้อนของฟันหน้ากับจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติม (ตารางที่ 2)

สรุปได้ว่า ดัชนีระบุการเคลื่อนรากฟันในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางของฟันหน้า ทั้งระดับปานกลางและระดับซับซ้อนมีความสัมพันธ์กับจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมในการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันใสอินวิสไลน์ โดยตัวแปรอื่นๆ ในแบบจำลองไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

ตารางที่ 2 ผลการวิเคราะห์ถดถอยปั๋วของหลายตัวแปรโดยปรับอิทธิพลของอายุ

ปัจจัย	การวิเคราะห์ตัวแปรเดี่ยว		การวิเคราะห์หลายตัวแปร	
	Univariable analysis		Multivariable analysis	
	Crude RR (95%CI)	P-value	Adjusted RR (95% CI)	P-value
Age	1.00 (0.99-1.01)	0.788	1.00 (0.99-1.02)	0.472
Extraction treatment	1.05 (0.76-1.45)	0.769	1.05 (0.76-1.46)	0.754
Moderate intrusion indicators	1.18 (1.06-1.31)	0.002*	1.06 (0.97-1.16)	0.224
Advanced intrusion indicators	1.04 (1.00-1.10)	0.073		
Moderate extrusion indicators	1.19 (0.86-1.66)	0.293		
Advanced extrusion indicators	NA	NA		
Moderate rotation indicators	1.31 (1.02-1.67)	0.033*		
Advanced rotation indicators	1.68 (1.10-2.55)	0.017*		
Moderate mesiodistal root movement indicators	1.23 (1.15-1.32)	<0.001*		
Advanced mesiodistal root movement indicators	1.22 (1.07-1.39)	0.003*		
Moderate buccolingual root movement indicators	1.09 (1.00-1.20)	0.060		
Advanced buccolingual root movement indicators	1.07 (0.78-1.49)	0.666		

*ค่า p น้อยกว่า 0.05; NA = ไม่สามารถใช้การวิเคราะห์ได้

คำย่อ: RR = risk ratio; CI = confidence interval

หมายเหตุ: ดัชนีระบุการเคลื่อนฟันออกจากกระดูกเบ้าฟันระดับซับซ้อน (Advanced extrusion indicators) ไม่สามารถวิเคราะห์ได้ เนื่องจากไม่พบดัชนีดังกล่าวในกลุ่มตัวอย่าง

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

การศึกษานี้มีการลดตัวแปรต้นเนื่องจากในการวิเคราะห์ทางสถิติถดถอยปั๋วของแบบตัวแปรเดียวพบว่า ดัชนีระบุการเคลื่อนฟันออกจากกระดูกเบ้าฟันระดับซับซ้อนไม่สามารถนำมาวิเคราะห์ได้เนื่องจากไม่พบดัชนีดังกล่าวในกลุ่มตัวอย่าง ส่วนดัชนีระบุการเคลื่อนฟันออกจากกระดูกเบ้าฟันระดับปานกลาง ดัชนีระบุการกดฟันเข้าสู่กระดูกเบ้าฟันในระดับซับซ้อน และดัชนีระบุการเคลื่อนฟันในแนวแก้ม-ลิ้นไม่ส่งผลต่อจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งผลขัดแย้งกับงานศึกษาในอดีตบางงานที่พบว่าการเคลื่อนฟันออกจากกระดูกเบ้าฟัน เป็นการเคลื่อนฟันที่ทำไ้ยากและมีความแม่นยำน้อยกว่าการเคลื่อนฟันชนิดอื่น แต่สำหรับการเคลื่อนฟันในแนวแก้ม-ลิ้นพบว่ามีทั้งงานวิจัยในปี 2017 ที่พบว่าการเคลื่อนฟันในแนวแก้ม-ลิ้นมีความแตกต่างระหว่างแผนและผลการรักษาในคลินิกอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่ไม่มีความสำคัญทางคลินิก แต่มีงานวิจัยที่ระบุผลตรงข้ามว่าเป็นการเคลื่อนฟันที่ความแม่นยำสูงสุด จึงมีแนวโน้มสอดคล้องกับการที่ตัวแปรนี้ไม่มีผลต่อจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติม (Kravitz และคณะ, 2009; Grünheid และคณะ, 2017; Haouili และคณะ, 2020)

สำหรับดัชนีระบุการเคลื่อนรากฟันในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางของฟันหน้า ทั้งระดับปานกลางและระดับซับซ้อน มีความสัมพันธ์กับจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ อาจอธิบายได้จากลักษณะของการเคลื่อนรากฟันซึ่งทำได้ยากและต้องอาศัยการควบคุมตำแหน่งของรากฟันด้วยแรงที่เหมาะสมอย่างละเอียด เมื่อการเคลื่อนรากฟันที่วางแผนมีความซับซ้อนมากขึ้น อาจทำให้ผลการเคลื่อนฟันจริงมีความคลาดเคลื่อนจากแผนการรักษาเริ่มต้นได้มากขึ้นเนื่องจากคุณสมบัติของวัสดุ (Upadhyay & Arqub, 2022) ส่งผลให้จำเป็นต้องสั่งทำชุดเครื่องมือเพิ่มเติมเพื่อแก้ไข

ตำแหน่งฟันให้ใกล้เคียงกับการสบฟันที่วางแผนไว้มากยิ่งขึ้น อีกปัจจัยที่อาจมีผลคือแผนการรักษาที่มีการถอนฟันและปิดช่องว่างมักจะมียะยะในการเคลื่อนฟันมากขึ้นต้องคำนึงถึงการล้มของฟัน (tipping) และการวางแผนชุดเซย์การล้มนั้นอาจเห็นได้จากจำนวนดัชนีการเคลื่อนรากฟันในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางในระดับปานกลางหรือซับซ้อน พบว่าในผู้ป่วยที่มีดัชนีการเคลื่อนรากฟันเหล่านี้เป็นผู้ป่วยที่ได้รับการถอนฟันร่วมด้วยร้อยละ 62.5 เช่นเดียวกับงานวิจัยในอดีตที่พบว่าผู้ป่วยที่มีช่องว่างในปากขนาดมากกว่า 6 มิลลิเมตร มีการทำชุดเครื่องมือเพิ่มเติมร้อยละ 71.4 (Barashi และคณะ, 2024) แต่ในการศึกษานี้ในผู้ป่วยที่มีการถอนฟันพบลักษณะตรงข้ามกับหลักฐานในอดีต เนื่องจากไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญกับจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติม ($p = 0.754$) อาจเกิดจากการที่กลุ่มตัวอย่างมีการถอนฟันเพียงบางซี่และไม่ได้เกิดการเคลื่อนฟันในปริมาณมาก ส่วนดัชนีระบุการกดฟันเข้าในกระดูกเบ้าฟันและการหมุนฟันของฟันหน้าพบว่าไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติม สอดคล้องกับการศึกษาในปี 2025 ที่พบว่ากรกดฟันหน้าไม่ส่งผลเพิ่มจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติม ส่วนการหมุนฟันทั้งระดับปานกลางและระดับซับซ้อนพบว่ามีค่า $p < 1$ จึงแสดงถึงแนวโน้มสัมพันธ์กับการเพิ่มจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งมีแนวสอดคล้องกับผลงานวิจัยในอดีตที่พบว่าการเพิ่มปริมาณการเคลื่อนฟันในแนวการหมุนฟันหน้าสามารถลดการมีชุดเครื่องมือเพิ่มเติม (Özkan, 2025)

อย่างไรก็ตามผลการศึกษานี้จากกรอบจากหลายปัจจัย เช่น การกระจายตัวของดัชนีการเคลื่อนฟันที่มีค่าศูนย์จำนวนมาก การตรวจสอบความร่วมมือของกลุ่มตัวอย่างได้จากบันทึกการรักษาเท่านั้น ไม่สามารถทราบความร่วมมือที่แท้จริงของผู้ป่วยได้ หรืออิทธิพลของปัจจัยทางคลินิกอื่นๆ ที่ไม่ได้ถูกรวมในการวิเคราะห์ครั้งนี้ เช่น ระดับการสบฟันผิดปกติตั้งต้นของผู้ป่วย ขนาดช่องว่างที่มีในช่องปาก ปริมาณการเคลื่อนฟัน และการวางแผนการรักษาจากทันตแพทย์เพียงท่านเดียว เนื่องจากทันตแพทย์แต่ละท่านอาจคุ้นเคยกับอุปกรณ์การจัดฟันถอดได้แบบใสต่างกันไป อาจมีการเลือกผู้ป่วยที่เหมาะสมกับการรักษาชนิดนี้ ความสามารถออกแบบการรักษา การมีหรือไม่มีปุ่มเคลื่อนฟัน การเลือกใช้ปุ่มเคลื่อนฟันชนิดต่างๆ หรือมีการแก้ไขเกิน (overcorrection) ล้วนส่งผลต่อจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติม ทำให้ผลการรักษามีความเฉพาะเจาะจง การพัฒนาการศึกษาในอนาคตจึงอาจศึกษาในกลุ่มตัวอย่างที่ใหญ่ขึ้น เก็บข้อมูลจากหลายสถานพยาบาลเพื่อเพิ่มความหลากหลายของกลุ่มประชากรและปัจจัยด้านทันตแพทย์ รวมถึงการวางแผนการรักษา และควบคุมตัวแปรกวนที่เป็นไปได้เพิ่มเติมเช่น ชนิดการสบฟันผิดปกติตั้งต้น ปริมาณช่องว่างที่ทำการปิดหรือเปิดเพื่อใส่ฟัน เป็นต้น

โดยสรุป ดัชนีระบุการเคลื่อนรากฟันในแนวใกล้กลาง-ไกลกลางของฟันหน้าอาจเป็นตัวชี้วัดที่มีประโยชน์ในการประเมินความเป็นไปได้ของการใช้ชุดเครื่องมือเพิ่มเติมในการรักษาด้วยเครื่องมือจัดฟันใสอินวิสไลน์ การพิจารณาดัชนีดังกล่าวในขั้นตอนการวางแผนการรักษาอาจช่วยให้ทันตแพทย์สามารถประเมินความซับซ้อนของการรักษา แจ้งความคาดหวังแก่ผู้ป่วย และวางแผนการติดตามผลได้เหมาะสมมากขึ้น แต่ต้องพิจารณาปัจจัยอื่น ที่อาจส่งผลต่อการเพิ่มขึ้นของจำนวนชุดเครื่องมือเพิ่มเติมเช่นกัน

เอกสารอ้างอิง

- Arqub, S. A., Banankhah, S., Sharma, R., Da Cunha Godoy, L., Kuo, C.-L., Ahmed, M., Alfardan, M., & Uribe, F. (2022). Association between initial complexity, frequency of refinements, treatment duration, and outcome in Invisalign orthodontic treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 162(3), e141-e155. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2022.06.017>
- Barashi, M. A., Habis, R. M., & Alhazmi, H. A. (2024). Predictability of Orthodontic Space Closure Using Invisalign Clear Aligners: A Retrospective Study. *Cureus*, 16(3), e56706. <https://doi.org/10.7759/cureus.56706>

- Bilello, G., Fazio, M., Amato, E., Crivello, L., Galvano, A., & Currò, G. (2022). Accuracy evaluation of orthodontic movements with aligners: A prospective observational study. *Progress in Orthodontics*, 23(1), 12. <https://doi.org/10.1186/s40510-022-00406-7>
- Burashed, H. (2023). The efficacy of anterior open bite closure when using Invisalign's optimized extrusion versus conventional attachments. *Journal of the World Federation of Orthodontists*, 12(3), 112-117. <https://doi.org/10.1016/j.ejwf.2023.04.001>
- Fiorillo, G., Campobasso, A., Croce, S., Hussain, U., Battista, G., Lo Muzio, E., Mandelli, G., Ambrosi, A., & Gastaldi, G. (2024). Accuracy of clear aligners in the orthodontic rotational movement using different attachment configurations. *Orthodontics & Craniofacial Research*, 27(6), 996-1003. <https://doi.org/10.1111/ocr.12846>
- Grünheid, T., Loh, C., & Larson, B. E. (2017). How accurate is Invisalign in nonextraction cases? Are predicted tooth positions achieved? *The Angle Orthodontist*, 87(6), 809-815. <https://doi.org/10.2319/022717-147.1>
- Haouili, N., Kravitz, N. D., Vaid, N. R., Ferguson, D. J., & Makki, L. (2020). Has Invisalign improved? A prospective follow-up study on the efficacy of tooth movement with Invisalign. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 158(3), 420-425. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2019.12.015>
- Kravitz, N. D., Dalloul, B., Zaid, Y. A., Shah, C., & Vaid, N. R. (2023). What percentage of patients switch from Invisalign to braces? A retrospective study evaluating the conversion rate, number of refinement scans, and length of treatment. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 163(4), 526-530. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2022.03.016>
- Kravitz, N. D., Kusnoto, B., BeGole, E., Obrez, A., & Agran, B. (2009). How well does Invisalign work? A prospective clinical study evaluating the efficacy of tooth movement with Invisalign. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 135(1), 27-35. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2007.05.018>
- Kwon, J.-S., Lee, Y.-K., Lim, B.-S., & Lim, Y.-K. (2008). Force delivery properties of thermoplastic orthodontic materials. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 133(2), 228-234. <https://doi.org/10.1016/j.ajodo.2006.03.034>
- Lombardo, L., Martines, E., Mazzanti, V., Arreghini, A., Mollica, F., & Siciliani, G. (2016). Stress relaxation properties of four orthodontic aligner materials: A 24-hour in vitro study. *The Angle Orthodontist*, 87(1), 11-18. <https://doi.org/10.2319/113015-813.1>
- Özkan, T. H. (2025). Predictors of refinement in clear aligner therapy: A retrospective tooth-level study of maxillary anterior teeth. *Scientific Reports*, 15(1), 30641. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-10801-9>
- Papadimitriou, A., Mousouleas, S., Gkantidis, N., & Kloukos, D. (2018). Clinical effectiveness of Invisalign® orthodontic treatment: A systematic review. *Progress in Orthodontics*, 19(1), 37. <https://doi.org/10.1186/s40510-018-0235-z>
- Rossini, G., Parrini, S., Castroflorio, T., Deregius, A., & Debernardi, C. L. (2015). Efficacy of clear aligners in controlling orthodontic tooth movement: A systematic review. *The Angle Orthodontist*, 85(5), 881-889. <https://doi.org/10.2319/061614-436.1>

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. <https://doi.org/10.1016/j.ejwf.2021.11.002>

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).