

EVALUATION OF CHANGES IN MAXILLARY ALVEOLAR MORPHOLOGY AFTER USING CONVENTIONAL VERSUS A DIGITAL NASOALVEOLAR MOLDING TECHNIQUE IN INFANTS WITH COMPLETE UNILATERAL CLEFT LIP AND PALATE: A RETROSPECTIVE COMPARATIVE STUDY

Nattapong THONGYA¹, Hathaichanok PARAKARN¹, Poonsak PISEK¹, Araya PISEK¹ and Buddhathida WANGSRIMONGKOL^{1*}

1 Faculty of Dentistry, Khon Kaen University, Thailand; buddhathida@kku.ac.th (Corresponding Author)

ARTICLE HISTORY

Received: 16 February 2024

Revised: 8 March 2024

Published: 15 March 2024

ABSTRACT

This study aimed to compare the changes in maxillary alveolar morphology after using conventional versus a digital Nasoalveolar molding (NAM) technique in infants with complete unilateral cleft lip and palate. For this retrospective study, 16 patients were divided into two groups based on the NAM technique: group 1 (individualized digital NAM) and group 2 (conventional NAM), with 8 patients each. A three-dimensional model of the maxillary segments was collected at the initial visit and prior to cheiloplasty. The dimensional changes between the 2 time points for each group were evaluated as follows: cleft gap, anterior and posterior arch width, angle of rotation, and length of both segments. The results showed that almost all parameters have no significant intergroup differences. However, there was a significant difference in the cleft gap and angulation of the greater segment ($p < 0.05$), with group 1 showing greater changes than group 2. In conclusion, both novel digital and conventional NAM therapy similarly improve maxillary alveolar segment deformities. Digital technology in NAM therapy can serve as an alternative treatment to the conventional NAM technique.

Keywords: Nasoalveolar Molding, Patient with Cleft Lip and Palate, Digital Nasoalveolar Molding

CITATION INFORMATION: Thongya, N., Parakarn, H., Pisek, P., Pisek, A., & Wangsrimongkol, B. (2024). Evaluation of Changes in Maxillary Alveolar Morphology After Using Conventional Versus a Digital Nasoalveolar Molding Technique in Infants with Complete Unilateral Cleft Lip and Palate: A Retrospective Comparative Study. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 2(3), 33

การประเมินการเปลี่ยนแปลงของสันกระดูกขากรรไกรบนภายหลังการใช้เครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรระหว่างเทคนิคดั้งเดิมและเทคนิคระบบดิจิทัลในผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่ข้างเดียวสมบูรณ์: การศึกษาเปรียบเทียบแบบย้อนหลัง

ณัฐพงษ์ ทองยา¹, หทัยชนก ภารการ¹, พูนศักดิ์ ภิเศก¹, อารยา ภิเศก¹ และ พุทธิธิดา วังศรีมงคล¹

1 คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น; buddhathida@kku.ac.th (ผู้ประพันธ์บรรณกิจ)

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินการเปลี่ยนแปลงของสันกระดูกขากรรไกรบนหลังใช้เครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรระหว่างเทคนิคดั้งเดิมกับเทคนิคระบบดิจิทัลในผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่ข้างเดียวชนิดสมบูรณ์ ผู้ป่วย 16 คน ถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่ม กลุ่มละ 8 คน ตามชนิดของเครื่องมือที่ใช้ในการรักษา กลุ่มที่ 1 ได้รับการรักษาด้วยเทคนิคระบบดิจิทัล และกลุ่มที่ 2 ด้วยเทคนิคดั้งเดิม เก็บข้อมูลแบบจำลองสามมิติของขากรรไกรบนทั้งสองกลุ่ม วัดการเปลี่ยนแปลงใน 2 ช่วงเวลา คือ เริ่มการรักษาและก่อนศัลยกรรมตกแต่งริมฝีปาก นำมาวิเคราะห์ความแตกต่างของการเปลี่ยนแปลงของพารามิเตอร์ระหว่างสองกลุ่ม โดยเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของความกว้างรอยแยก ความกว้างสันกระดูกขากรรไกรตำแหน่งฟันเขี้ยวและด้านท้าย มุมการหมุนและความยาวของสันกระดูกขากรรไกร พบว่าพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ไม่มีความแตกต่างกัน ยกเว้นการเปลี่ยนแปลงของความกว้างรอยแยกและมุมการหมุนของสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่ที่พบว่า แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ($p < 0.05$) โดยกลุ่มที่ 1 เปลี่ยนแปลงมากกว่ากลุ่มที่ 2 การศึกษานี้สรุปผลได้ว่า เครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรเทคนิคดั้งเดิมและเทคนิคระบบดิจิทัลสามารถแก้ไขความผิดปกติของสันกระดูกขากรรไกรได้ใกล้เคียงกัน การนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้ในการงานเครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรถือเป็นอีกทางเลือกที่สามารถใช้ในการรักษาผู้ป่วยในกลุ่มนี้ได้

คำสำคัญ: เครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกร, ผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่, เครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรเทคนิคระบบดิจิทัล

ข้อมูลการอ้างอิง: ณัฐพงษ์ ทองยา, หทัยชนก ภารการ, พูนศักดิ์ ภิเศก, อารยา ภิเศก และ พุทธิธิดา วังศรีมงคล. (2567). การประเมินการเปลี่ยนแปลงของสันกระดูกขากรรไกรบนภายหลังการใช้เครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรระหว่างเทคนิคดั้งเดิมและเทคนิคระบบดิจิทัลในผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่ข้างเดียวสมบูรณ์: การศึกษาเปรียบเทียบแบบย้อนหลัง. *Procedia of Multidisciplinary Research*, 2(3), 33

บทนำ

เครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกร (Presurgical Nasoalveolar Molding Appliance) หรือแอม ถูกนำเสนอขึ้นเป็นครั้งแรกโดย Grayson และคณะ ในปี ค.ศ.1993 ใช้ในการรักษาผู้ป่วยแรกเกิดที่มีภาวะปากแหว่งเพดานโหว่ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับแต่งสันกระดูกขากรรไกรบนที่เบี่ยงเบนไปและลดความกว้างของรอยแยกของสันกระดูกขากรรไกรก่อนการทำศัลยกรรมตกแต่งริมฝีปากเพื่อให้ได้ผลลัพธ์หลังการผ่าตัดที่ดี (Shetye & Grayson, 2017) เครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรนี้ได้ถูกนำมาใช้ในการรักษาผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่อย่างแพร่หลาย มีการปรับปรุงและพัฒนาเป็นรูปแบบต่าง ๆ ในปี ค.ศ.2015 Manosudprasit และคณะ ได้พัฒนาและปรับปรุงเครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรขึ้นมา ชื่อว่า เครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรของมหาวิทยาลัยขอนแก่น (Khon Kaen University Presurgical Nasoalveolar Molding) หรือเคเคแอม ซึ่งประกอบไปด้วย 3 ส่วน ได้แก่ แถบคาดริมฝีปาก (Lip Strapping) ใช้ดึงริมฝีปากบนทั้งสองเข้าหากัน เครื่องมือปรับแต่งจมูก (Nasal Molding Device) จะช่วยยกจมูกให้โด่งขึ้น และแผ่นเพดานเทียมชนิดดึงสันเหงือกเข้าหากัน (Active Plate) ที่มีสกรูขนาดเล็กเพื่อใช้ในการดึงสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่และขนาดเล็กเข้าหากันดังภาพที่ 1 หลังการใช้เครื่องมือชนิดนี้พบว่า สามารถลดความกว้างของช่องว่างของสันกระดูกขากรรไกรบน รวมถึงปรับรูปร่างของจมูกและริมฝีปาก ช่วยให้ได้ผลลัพธ์หลังการทำศัลยกรรมตกแต่งริมฝีปากดีขึ้น Manosudprasit และคณะ ได้นำเสนอวิธีนี้เป็นเกณฑ์วิธี (Protocol) ในการรักษาผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่ที่มารักษาที่คณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น (Manosudprasit et al., 2015)

เทคโนโลยีแคดแคม (Computer-Aided Design and Computer-Aided Manufacturing) ถูกนำมาใช้ในงานทันตกรรมครั้งแรกในช่วงกลางของทศวรรษ 1980 และนำไปใช้ในงานทันตกรรมหลาย ๆ สาขา (Taneva et al., 2015) แม้กระทั่งนำมาใช้ในการสร้างเครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกร โดยคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ได้นำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในการสร้างเครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรเฉพาะบุคคลด้วยระบบดิจิทัล (Individualized Digital NasoAlveolar Molding) หรือไอดีแอม ซึ่งเครื่องมือชนิดนี้เป็นการนำระบบดิจิทัลมาใช้ตั้งแต่การเก็บข้อมูลของผู้ป่วย การออกแบบเครื่องมือ รวมทั้งผลิตเป็นชิ้นงานสำหรับรักษาผู้ป่วยที่มีภาวะปากแหว่งเพดานโหว่ ไอดีแอมถูกออกแบบโดยยังคงหลักการของเทคนิค Grayson ซึ่งประกอบไปด้วยเพดานเทียมชนิดมีแรงกระทำ (Conventional Molding Plate) และมีกระดุมยึด (Retentive Button) อยู่ทางด้านหน้าให้เป็นที่ยึดของแถบเทปคาดริมฝีปาก (Adhesive Tape) โดยคล้องจากกระดุมยึดไปที่แก้มทั้งสองข้าง เพื่อให้เพดานเทียมยึดอยู่ในช่องปากเกิดแรงในการเคลื่อนสันกระดูกขากรรไกรมาปิดรอยแยกดังภาพที่ 2 โดยหลังการรักษาด้วยเครื่องมือชนิดนี้พบว่าสามารถลดช่องว่างระหว่างสันกระดูกขากรรไกรบนได้ภายใน 1 เดือน รวมถึงสามารถปรับแต่งริมฝีปากและจมูกให้ดีขึ้นก่อนการทำศัลยกรรมตกแต่งริมฝีปากได้ภายในระยะเวลา 2 ถึง 4 เดือน (Parakarn et al., 2023)

อย่างไรก็ตาม เพื่อยืนยันประสิทธิผลในการรักษาผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่ของไอดีแอม การศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสันกระดูกขากรรไกรบนหลังรักษาด้วยไอดีแอมและนำมาเปรียบเทียบกับเคเคแอมซึ่งเป็นมาตรฐานการรักษาของคณะทันตแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น จะช่วยให้สามารถประเมินประสิทธิผลในการรักษาของไอดีแอมได้ จึงเป็นวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้

วิธีการศึกษา

การศึกษานี้เป็นรูปแบบการศึกษาแบบย้อนหลัง (Retrospective Study) เพื่อเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงสามมิติของสันกระดูกขากรรไกรบนในผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่ช่วงเดียวสมบุรณ์ภายหลังจากที่ได้รับการรักษาด้วยเครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรก่อนศัลยกรรมเทคนิคดั้งเดิมหรือเทคนิคระบบดิจิทัล การศึกษานี้เลือกกลุ่มตัวอย่างด้วยวิธีการเลือกตัวอย่างแบบต่อเนื่องกัน (Consecutive Sampling) โดยจะเลือกผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่ช่วงเดียวสมบุรณ์อายุ 0-6 เดือน ทุกคนที่ได้รับการรักษาที่คลินิกทันตกรรมจัดฟัน คณะทันตแพทยศาสตร์

มหาวิทยาลัยขอนแก่น ในช่วงปี ค.ศ.2019 ถึง ค.ศ.2022 ซึ่งผ่านเกณฑ์ในการคัดเลือกประชากรเพื่อใช้ในการศึกษา (Inclusion Criteria) โดยเป็นผู้ป่วยที่ไม่มีกลุ่มอาการของความพิการทางใบหน้าและกะโหลกศีรษะร่วมด้วย (Syndromic Cleft Lip and Palate) และต้องมีแบบจำลองขากรรไกรบนก่อนและหลังการรักษาที่สมบูรณ์และคุณภาพดี

การเก็บรวบรวมข้อมูล จะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ข้อมูลทางประชากรศาสตร์ (Demographic Data) ได้แก่ เพศ อายุ ชนิดของปากแหว่งเพดานโหว่ และข้อมูลการรักษาของผู้ป่วย (Treatment Records) ได้แก่ ประวัติการรักษา ชนิดของเครื่องมือที่ใช้ในการรักษาวันที่เริ่มรักษาจนถึงวันที่สิ้นสุดการรักษาก่อนทำศัลยกรรมตกแต่งริมฝีปาก รวมถึงข้อมูลไฟล์แบบจำลองสามมิติ ของขากรรไกรบนของผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยไอดีแอมหรือเคเคยูแอมโดยเก็บข้อมูล 2 ช่วงเวลา คือ เวลาเริ่มการรักษา และก่อนศัลยกรรมตกแต่งริมฝีปาก

กลุ่มตัวอย่างที่ตรงตามเกณฑ์ในการคัดเลือกประชากร จะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม ตามชนิดของเครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกร ได้แก่ กลุ่มที่ 1 ผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยไอดีแอม และกลุ่มที่ 2 ผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยเคเคยูแอม ตัวอย่างของผู้ป่วยที่ได้รับการรักษาด้วยไอดีแอมและเคเคยูแอมแสดงในภาพที่ 1 และภาพที่ 2



ภาพที่ 1 แสดงเครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรชนิดเคเคยูแอม



ภาพที่ 2 แสดงเครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรชนิดไอดีแอม

การวัดและการวิเคราะห์ข้อมูลจะเริ่มจากการนำไฟล์แบบจำลองสามมิติของขากรรไกรบนที่ได้จากการสแกนในช่องปากของผู้ป่วยด้วยเครื่องสแกน TRIOS40 3Shape Intraoral Scanner เข้ามาวิเคราะห์ในซอฟต์แวร์ดอลฟิน (Dolphin Imaging, Version 8.0) โดยกำหนดจุดกำหนดทางกายวิภาคตามการศึกษาของ Chaisooktasin et al. (2023) ดังแสดงในตารางที่ 1 และภาพที่ 3 จากนั้นวัดระยะห่างระหว่างจุดกำหนดทางกายวิภาค มุมของการหมุนและความยาวของสันกระดูกขากรรไกร แสดงในตารางที่ 2

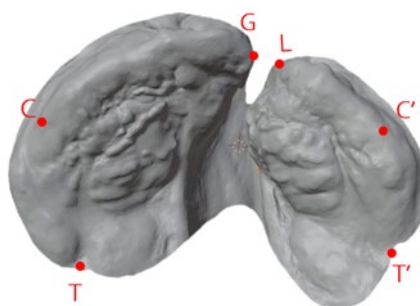
ทำการวัดการเปลี่ยนแปลงของสันกระดูกขากรรไกรก่อนการรักษาและก่อนศัลยกรรมตกแต่งริมฝีปากของทั้งสองกลุ่ม ได้ผลออกมาเป็นผลต่างของค่าเฉลี่ย (Mean Difference) และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation) จากนั้นนำค่าเหล่านี้มาวิเคราะห์ความแตกต่างของทั้งสองกลุ่มด้วยโปรแกรมวิเคราะห์สถิติ SPSS V28.0 (SPSS Inc., USA) โดยพบว่าข้อมูลมีการแจกแจงแบบปกติ และไม่มี ความแตกต่างกันของความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม จึงใช้สถิติการวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างคู่ (Independent Sample t-test) ในการศึกษานี้

ตารางที่ 1 แสดงจุดกำหนดทางกายวิภาคของสันกระดูกขากรรไกรบน

จุดกำหนดทางกายวิภาค	บทนิยาม
G	จุดหน้าสุดของสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่
L	จุดหน้าสุดของสันกระดูกขากรรไกรขนาดเล็ก
C	จุดตัดระหว่างร่องของเนื้อเยื่ออีตริมฝีปากด้านข้างและยอดของสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่
C'	จุดตัดระหว่างร่องของเนื้อเยื่ออีตริมฝีปากด้านข้างและยอดของสันกระดูกขากรรไกรขนาดเล็ก
T	จุดท้ายสุดของสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่
T'	จุดท้ายสุดของสันกระดูกขากรรไกรขนาดเล็ก

ตารางที่ 2 แสดงพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวัด

พารามิเตอร์	บทนิยาม
G-L	ความกว้างของรอยแยกสันกระดูกขากรรไกร
C-C'	ความกว้างของสันกระดูกขากรรไกรที่ตำแหน่งฟันเขี้ยว
T-T'	ความกว้างของสันกระดูกขากรรไกรด้านท้าย
G-T-T'	มุมการหมุนของสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่
L-T'-T	มุมการหมุนของสันกระดูกขากรรไกรขนาดเล็ก
G-C	ความยาวส่วนหน้าของสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่
C-T	ความยาวส่วนท้ายของสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่
L-C'	ความยาวส่วนหน้าของสันกระดูกขากรรไกรขนาดเล็ก
C'-T'	ความยาวส่วนท้ายของสันกระดูกขากรรไกรขนาดเล็ก



ภาพที่ 3 แสดงจุดกำหนดทางกายวิภาคของสันกระดูกขากรรไกรบน

ผลการศึกษา

ผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่ข้างเดียวสมบูรณ์ที่ได้รับการรักษาด้วยเครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรจำนวน 16 ราย แบ่งเป็น 2 กลุ่ม โดยกลุ่มที่ 1 ได้รับการรักษาด้วยไอดีแอม 8 ราย ประกอบไปด้วย เพศชาย 5 ราย (ร้อยละ 62.5) และเพศหญิง 3 ราย (ร้อยละ 37.5) มีภาวะปากแหว่งเพดานโหว่ข้างซ้ายสมบูรณ์ 7 ราย (ร้อยละ 87.5) และข้างขวา 1 ราย (ร้อยละ 12.5) โดยมีอายุเฉลี่ยก่อนเริ่มการรักษา 22.9 ± 16.0 วัน และอายุเฉลี่ยก่อนศัลยกรรมริมฝีปาก 134.6 ± 18.9 วัน โดยใช้เวลาเฉลี่ยในการรักษาทั้งหมด 111.8 ± 21.6 วัน ในขณะที่กลุ่มที่ 2 ได้รับการรักษาด้วยเคเคยูแอมมีทั้งหมด 8 ราย ประกอบไปด้วย เพศชายและเพศหญิง ในจำนวนเท่ากับกลุ่มที่ 1 มีภาวะปากแหว่งเพดานโหว่ข้างซ้ายสมบูรณ์ 6 ราย (ร้อยละ 75) และข้างขวา 2 ราย (ร้อยละ 25) โดยมีอายุเฉลี่ยก่อนเริ่มการรักษา

33.0 ± 41.8 วัน และอายุเฉลี่ยก่อนศัลยกรรมริมฝีปาก 130.4 ± 31.8 วัน โดยใช้เวลาเฉลี่ยในการรักษาทั้งหมด 97.4 ± 30.0 วัน ซึ่งข้อมูลของผู้ป่วยแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงคุณลักษณะของผู้ป่วยในการศึกษานี้ (Patients' characteristic)

คุณลักษณะของผู้ป่วย	เครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกร	
	ไอดีแหม	เคเคยูแหม
สัดส่วนเพศชาย: เพศหญิง	5: 3	5: 3
สัดส่วนภาวะปากแหว่งเพดานโหว่ข้างขวา: ข้างซ้าย	1: 7	2: 6
อายุเฉลี่ยก่อนเริ่มการรักษา (วัน)	22.9 ± 16.0	33.0 ± 41.8
อายุเฉลี่ยก่อนศัลยกรรมริมฝีปาก (วัน)	134.6 ± 18.9	130.4 ± 31.8
เวลาเฉลี่ยในการรักษา (วัน)	111.8 ± 21.6	97.4 ± 30.0

หลังจากวัดแบบจำลองสามมิติของขากรรไกรบนก่อนและหลังการใส่เครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกร นำค่าที่ได้มาหาผลต่างของค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของทั้งสองกลุ่ม จากนั้นนำผลต่างค่าเฉลี่ยนั้นมาเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มที่ 1 และกลุ่มที่ 2 ได้ข้อมูลแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 แสดงข้อมูลการเปลี่ยนแปลงของสันกระดูกขากรรไกรก่อนและหลังการใส่เครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรในแต่ละกลุ่ม และการเปรียบเทียบแตกต่างระหว่างทั้งสองกลุ่ม

พารามิเตอร์	ผลต่างของค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานก่อนและหลังการใส่เครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกร		ผลการเปรียบเทียบระหว่างสองกลุ่ม		p-value
	ไอดีแหม	เคเคยูแหม	ผลต่างของค่าเฉลี่ย	ความคลาดเคลื่อนมาตรฐาน	
G-L (มม.)	-6.7 ± 1.5	-3.0 ± 2.6	3.6	1.1	0.004*
C-C' (มม.)	-0.5 ± 1.7	0.0 ± 3.7	0.5	1.5	0.758
T-T' (มม.)	1.7 ± 1.7	1.3 ± 1.6	-0.4	-2.2	0.606
G-T-T' (องศา)	-10.9 ± 4.7	-2.6 ± 5.2	8.3	2.5	0.005*
L-T'-T (องศา)	-4.8 ± 8.1	-6.8 ± 4.9	-2.1	3.4	0.552
G-C (มม.)	3.0 ± 3.4	1.4 ± 2.8	-1.6	1.6	0.325
C-T (มม.)	1.2 ± 2.9	0.5 ± 3.6	-0.7	1.6	0.689
L-C' (มม.)	1.2 ± 0.9	0.8 ± 2.4	-0.3	0.9	0.705
C'-T' (มม.)	1.6 ± 4.1	1.3 ± 2.8	-0.3	1.8	0.884

*แสดงค่าความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญที่ p < 0.05

จากผลการเปลี่ยนแปลงของสันกระดูกขากรรไกรหลังจากใช้เครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรทั้งสองชนิดพบว่า ในกลุ่มที่ได้รับการรักษาด้วยเคเคยูแหมมีค่าเฉลี่ยการลดลงของความกว้างของรอยแยกสันกระดูกขากรรไกร (G-L) ที่ 3.0 ± 2.6 มม. ในขณะที่เดียวกันในกลุ่มที่ได้รับการรักษาด้วยไอดีแหมมีค่าลดลงอยู่ 6.7 ± 1.5 มม. โดยทั้งสองมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ (p-value < 0.05) เมื่อวิเคราะห์ความกว้างของสันกระดูกขากรรไกรที่ตำแหน่งฟันเขี้ยว (C-C') ความกว้างของสันกระดูกขากรรไกรด้านท้าย (T-T') ความยาวของสันกระดูกขากรรไกรทั้งส่วนหน้าและส่วนหลัง

ของขากรรไกรขนาดใหญ่และเล็ก (G-C, C-T, L-C' และ C'-T') พบว่า ทั้งสองกลุ่มหลังจากใส่เครื่องมือมีความกว้างขึ้นจากก่อนใส่เครื่องมือ ยกเว้นกลุ่มที่ได้รับการรักษาด้วยไอดีแอมที่มีความกว้างของสันกระดูกขากรรไกรที่ตำแหน่งฟันเขี้ยวลดลงจากก่อนการรักษาโดยมีค่าเฉลี่ยลดลงที่ 0.5 ± 1.7 มม. ซึ่งจากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันของพารามิเตอร์เหล่านี้จากทั้งสองกลุ่ม

เมื่อพิจารณาการหมุนของสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่และขนาดเล็กพบว่าทั้งสองกลุ่มมีการหมุนที่ลดลงโดยกลุ่มที่ได้รับการรักษาด้วยเคเคยูแอมมีค่าเฉลี่ยการลดลงของมุมการหมุนของสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่ (G-T-T') อยู่ที่ 2.6 ± 5.2 องศา และขากรรไกรขนาดเล็ก (L-T-T) อยู่ที่ 6.8 ± 4.9 องศา ในทำนองเดียวกันกลุ่มที่ได้รับการรักษาด้วยไอดีแอมมีค่าเฉลี่ยการลดลงของมุมการหมุนของสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่อยู่ที่ 10.9 ± 4.7 องศา และขากรรไกรขนาดเล็กอยู่ที่ 4.8 ± 8.1 องศา ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างสองกลุ่มพบว่า มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญในมุมการหมุนของสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่ ($p\text{-value} < 0.05$) ในขณะที่ไม่มีความแตกต่างในมุมการหมุนของสันกระดูกขากรรไกรขนาดเล็ก

เมื่อพิจารณาความยาวของสันกระดูกขากรรไกร พบว่า ความยาวของสันกระดูกขากรรไกรส่วนหน้าและส่วนท้ายของสันกระดูกขากรรไกรทั้งสองข้างมีความยาวที่เพิ่มมากขึ้นหลังจากใส่เครื่องมือ โดยเฉพาะในกลุ่มที่ได้รับการรักษาด้วยไอดีแอม พบว่ามีการเพิ่มขึ้นของความยาวส่วนหน้าของสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่ที่ 3.0 ± 3.4 มม. แต่จากการวิเคราะห์ทางสถิติพบว่า ไม่มีความแตกต่างกันของพารามิเตอร์เหล่านี้จากทั้งสองกลุ่ม

สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

เครื่องมือปรับแต่งจุกและสันกระดูกขากรรไกรเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการช่วยปรับตำแหน่งของสันกระดูกขากรรไกรบนและลดความกว้างของรอยแยกของสันกระดูกขากรรไกรเพื่อให้ผลลัพธ์ของการศัลยกรรมริมฝีปากให้ดีขึ้น (Shetye & Grayson, 2017) ปัจจุบันมีการพัฒนาและปรับปรุงเครื่องมือปรับแต่งจุกและสันกระดูกขากรรไกรขึ้นมาหลายแบบ โดยเฉพาะการนำเอาเทคโนโลยีมาช่วยในการออกแบบและผลิตเครื่องมือปรับแต่งจุกและสันกระดูกขากรรไกรด้วยระบบดิจิทัล ทำให้เพิ่มความแม่นยำและสามารถเคลื่อนสันกระดูกขากรรไกรบนเพื่อปิดรอยแยกได้อย่างเที่ยงตรง (Gong et al., 2020; Schiebl et al., 2020)

การศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงของสันกระดูกขากรรไกรบนภายหลังการใช้เครื่องมือปรับแต่งจุกและสันกระดูกขากรรไกรก่อนศัลยกรรมระหว่างเทคนิคดั้งเดิมคือเคเคยูแอมและเทคนิคระบบดิจิทัลคือไอดีแอมในกลุ่มผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่ข้างเดียวสมบูรณ์ โดยวิเคราะห์จากภาพสามมิติของสันกระดูกขากรรไกรบนของผู้ป่วยที่ได้เก็บข้อมูลไว้ช่วงก่อนการรักษาและก่อนศัลยกรรมตกแต่งริมฝีปากเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงในส่วนของความกว้างมุมและความยาวของสันกระดูกขากรรไกรที่เปลี่ยนไปในสามมิติ ซึ่งการวิเคราะห์แบบสามมิติจะสามารถทำการประเมินได้มีคุณภาพมากกว่าการวัดแบบสองมิติที่วัดโดยตรงบนแบบจำลองฟัน (Darvann et al., 2007) การวิเคราะห์ในสามมิติจำเป็นต้องมีการเก็บข้อมูลพื้นผิวของสันกระดูกขากรรไกร ซึ่งในการศึกษานี้ใช้ไฟล์แบบจำลองสามมิติซึ่งได้มาจากการสแกนสันกระดูกขากรรไกรของผู้ป่วยด้วยเครื่องสแกนในช่องปาก TRIOS® (3shape, Copenhagen, Denmark) โดยเป็นวิธีที่สะดวกและภาพสามมิติที่ได้มีความผิดพลาดที่น้อย (Anh et al., 2016)

การวิเคราะห์แบบจำลองสามมิติจะอาศัยการกำหนดจุดกำหนดทางกายวิภาคเพื่อใช้ในการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของสันกระดูกขากรรไกร ในปี ค.ศ.1964 Sillman ได้หาความกว้างของส่วนโค้งแนวฟันโดยวิเคราะห์จากแบบจำลองฟัน พบว่าตำแหน่งของปุ่มขากรรไกรบน (T/T' point) ที่ใช้ในการวัดความกว้างของสันกระดูกขากรรไกรด้านท้ายเป็นตำแหน่งที่มีการเปลี่ยนแปลงที่น้อย (Sillman, 1964) โดยการศึกษาของเราพบว่าทั้งเคเคยูแอมและไอดีแอมมีการเพิ่มขึ้นของความกว้างของสันกระดูกขากรรไกรด้านท้ายภายหลังการใช้เครื่องมือเฉลี่ยเท่ากับ 1.3 ± 1.6 มม. และ 1.7 ± 1.7 มม. ตามลำดับ ซึ่งเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อยและไม่มีความแตกต่างกันทั้งสองกลุ่ม ในขณะที่ Mishima และคณะ ในปี ค.ศ.1995 ได้ใช้ตำแหน่งฟันเขี้ยว (C/C' point) ในการวัดส่วนโค้งแนวฟันหน้า โดยพบว่า มีการเปลี่ยนแปลง

ที่น้อยในผู้ป่วยที่มีภาวะปากแหว่งเพดานโหว่ (Mishima et al., 1995) ซึ่งคล้ายกับการศึกษานี้ที่มีการเพิ่มขึ้นความกว้างของสันกระดูกขากรรไกรที่ตำแหน่งฟันเขี้ยวเฉลี่ยในกลุ่มเคเคยูแนมเท่ากับ 0.0 ± 3.7 มม. ในขณะที่กลุ่มไอดีแนมพบว่ามีการลดลงเฉลี่ย 0.5 ± 1.7 มม. โดยทั้งสองกลุ่มมีการเปลี่ยนแปลงที่น้อยมากและไม่แตกต่างกันระหว่างกลุ่ม การวัดความกว้างของรอยแยกในการศึกษานี้จะวัดจากระยะห่างของจุด G และจุด L ซึ่งเป็นจุดหน้าสุดสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่และขนาดเล็กตามลำดับ พบว่า ทั้งสองกลุ่มมีความกว้างของรอยแยกที่ลดลงซึ่งคล้ายคลึงกับหลายๆการศึกษาที่พบว่าภายหลังการรักษาด้วยเครื่องมือปรับจุกและสันกระดูกขากรรไกรจะมีความกว้างของรอยแยกที่ลดลง (Batra et al., 2015; Prasongvaranon et al., 2019) โดยในการศึกษานี้กลุ่มที่ได้รับการรักษาด้วยไอดีแนมสามารถลดช่องว่างรอยแยกได้มากถึง 6.7 ± 1.5 มม. และมีความแตกต่างจากกลุ่มเคเคยูแนมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p\text{-value} < 0.05$) ในทำนองเดียวกันเมื่อพิจารณามุมการหมุนของสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่และขนาดเล็ก พบว่ากลุ่มที่ได้รับการรักษาด้วยไอดีแนมมีการลดลงของมุมการหมุนของสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่ที่มากกว่ากลุ่มที่ได้รับการรักษาด้วยเคเคยูแนมอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติเช่นเดียวกัน ($p\text{-value} < 0.05$) จากการศึกษาของ Saad และคณะ ในปี ค.ศ.2019 ได้อธิบายว่าการลดลงของรอยแยกเกิดขึ้นจากการที่มีแรงกดสันกระดูกขากรรไกรเข้ามาตรงกลางและด้านใน ซึ่งเกิดจากแรงของเทปคาตริมฟีปากและแรงจากเครื่องมือปรับจุกและสันกระดูกขากรรไกร รวมทั้งการที่สันกระดูกขากรรไกรเกิดการหมุนเข้าด้านในก็ส่งผลให้รอยแยกลดลงด้วย (Saad et al., 2020) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษานี้ที่มีการลดลงของมุมการหมุนของสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่และขนาดเล็กร่วมกับความกว้างของรอยแยกที่ลดลงของกลุ่มตัวอย่างทั้งสองกลุ่ม ซึ่งการที่ช่องว่างรอยแยกลดลงส่งผลให้การผ่าตัดมีประสิทธิภาพมากขึ้น การศึกษาของ Zheng และคณะ ในปี ค.ศ.2020 ได้วัดความยาวของสันกระดูกขากรรไกรที่เปลี่ยนแปลงไปหลังจากใส่เครื่องมือปรับจุกและสันกระดูกขากรรไกร พบว่าความยาวส่วนหน้าของสันกระดูกขากรรไกรขนาดเล็กมีความยาวที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่ความยาวของสันกระดูกส่วนอื่นไม่แตกต่างจากก่อนการรักษา (Zheng et al., 2020) ซึ่งพบว่าแตกต่างจากการศึกษานี้ที่มีความยาวของสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่และขนาดเล็กเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยในทั้งสองกลุ่มที่ 1 และ 2

มีหลายๆ การศึกษาที่ทำการเปรียบเทียบผลของเครื่องมือปรับแต่งจุกและสันกระดูกขากรรไกรต่อการเปลี่ยนแปลงสันกระดูกขากรรไกรบนก่อนการศัลยกรรมริมฝีปาก ซึ่งการศึกษาส่วนใหญ่สรุปได้ว่าไม่มีความแตกต่างกันของเครื่องมือทั้งสองเทคนิค (Abhinav et al., 2021; Thakur et al., 2021) โดยเครื่องมือส่วนใหญ่ที่นำมาเปรียบเทียบนั้นเป็นเครื่องมือเทคนิคดั้งเดิมที่ต้องอาศัยการพิมพ์ปากผู้ป่วยมาสร้างเป็นแบบจำลองฟันและสร้างเครื่องมือปรับจุกและสันกระดูกขากรรไกรจากแบบจำลองฟันนั้น เช่น การศึกษาของ Thakur และคณะ ในปี ค.ศ.2021 ที่ทำการศึกษาแบบทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพและประสิทธิผลของเครื่องมือปรับแต่งจุกและสันกระดูกขากรรไกรสองเทคนิคคือเทคนิค Grayson แบบดั้งเดิมและ เทคนิค Modified Grayson ในกลุ่มผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่โดยผลการศึกษาพบว่าเครื่องมือทั้งสองชนิดสามารถลดความกว้างของรอยแยกสันกระดูกขากรรไกรได้ไม่แตกต่างกัน (Thakur et al., 2021) ในทำนองเดียวกัน Abhinav และคณะ ในปี ค.ศ.2022 ได้เปรียบเทียบผลของเครื่องมือปรับแต่งจุกและสันกระดูกขากรรไกรสองเทคนิค คือ เทคนิค Dynacleft เทียบกับเทคนิค Modified Grayson ซึ่งสรุปผลการศึกษาได้ว่าทั้งสองเทคนิคมีประสิทธิภาพในการลดความกว้างของรอยแยกสันกระดูกขากรรไกรได้ไม่แตกต่างกัน (Abhinav et al., 2021)

ปัจจุบันมีการนำระบบดิจิทัลมาใช้ในการรักษาผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่มากขึ้น จึงมีหลายการศึกษาที่ทำการเปรียบเทียบผลของเครื่องมือปรับแต่งจุกและสันกระดูกขากรรไกรระหว่างเทคนิคดั้งเดิมและเทคนิคระบบดิจิทัล เช่น Batra และคณะ ในปี ค.ศ.2022 ได้เปรียบเทียบเครื่องมือเทคนิค modified Grayson และเครื่องมือจัดฟันแบบถอดได้แบบใส (Clear Aligner) พบว่าผลลัพธ์หลังการรักษาด้วยเครื่องมือสองชนิดนี้ไม่แตกต่างกัน (Batra et al., 2022) ซึ่งคล้ายกับการศึกษาของ El-Ashmawi และคณะ ในปี ค.ศ.2022 ได้เปรียบเทียบผลทางคลินิกของเครื่องมือปรับจุกและสันกระดูกขากรรไกรเทคนิค Grayson แบบดั้งเดิมและเทคนิคระบบดิจิทัลโดยใช้ชื่อว่า แคนแนม (CAD/NAM) ซึ่งผล

การศึกษาพบว่าทั้งสองเทคนิคสามารถลดความกว้างของรอยแยกสันกระดูกได้ใกล้เคียงกัน (El-Ashmawi et al., 2022) เมื่อพิจารณาการศึกษาของเราถึงผลการศึกษาก็พบว่าเครื่องมือปรับจมูกและสันกระดูกขากรรไกรเทคนิคระบบดิจิทัลหรือโอดีแอมสามารถลดความกว้างของรอยแยก และมุมการหมุนของสันกระดูกขากรรไกรขนาดใหญ่ได้มากกว่าเทคนิคดั้งเดิมหรือเคเคยูแอม แต่ค่าพารามิเตอร์โดยส่วนใหญ่ที่เปลี่ยนแปลงในสันกระดูกขากรรไกรบนก็ให้ผลที่ไม่แตกต่างกัน อย่างไรก็ตามเนื่องจากกลุ่มตัวอย่างที่มีจำกัด รวมทั้งยังมีข้อมูลไม่ครบถ้วนในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการรักษา ผลข้างเคียงที่เกิดขึ้นและความร่วมมือของผู้ปกครองในการใส่เครื่องมือทั้งสองเทคนิคก็เป็นข้อจำกัดของการศึกษานี้ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเปรียบเทียบผลของการรักษาในด้านอื่นๆ นอกเหนือจากการเปลี่ยนแปลงของสันกระดูกขากรรไกรบน เพื่อยืนยันประสิทธิผลของการรักษาผู้ป่วยปากแหว่งเพดานโหว่ด้วยเครื่องมือปรับจมูกและสันกระดูกขากรรไกรด้วยเทคนิคระบบดิจิทัลต่อไป ดังนั้นการศึกษานี้สรุปได้ว่า เครื่องมือปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรทั้งสองเทคนิคสามารถแก้ไขความผิดปกติของสันกระดูกขากรรไกรได้ใกล้เคียงกัน การนำเทคโนโลยีดิจิทัลมาใช้ในการปรับแต่งจมูกและสันกระดูกขากรรไกรก็ถือเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถใช้ในการรักษาผู้ป่วยที่มีภาวะปากแหว่งเพดานโหว่ได้

เอกสารอ้างอิง

- Abhinav, B. A., Batra, P., Chander Sood, S., Sharma, K., Srivastava, A., & Raghavan, S. (2021). Comparative Study of Presurgical Infant Orthopedics by Modified Grayson Method and Dynacleft With Nasal Elevators in Patients With Unilateral Cleft Lip and Palate—A Clinical Prospective Study. *Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 58(2), 189-201.
- Anh, J. W., Park, J. M., Chun, Y. S., Kim, M., & Kim, M. (2016). A comparison of the precision of three-dimensional images acquired by 2 digital intraoral scanners: Effects of tooth irregularity and scanning direction. *Korean Journal of Orthodontics*, 46(1), 3-12.
- Batra, P., Ashith, M., Mittal, S., Hussain, A., Mustafa, K., & Sood, S. (2015). Effects of nasoalveolar molding therapy on alveolar morphology in unilateral cleft lip and palate using two different approaches. *Journal of Cleft Lip Palate and Craniofacial Anomalies*, 2(2), 107.
- Batra, P., Gribel, B. F., Abhinav, B. A., Raghavan, S., & Arora, A. (2022). A comparative evaluation of presurgical infant orthopedics of modified Grayson's technique with clear aligners incorporating a nasal elevator in patients with unilateral cleft lip and palate. *American Journal of Orthodontics and Dentofacial Orthopedics*, 162(5), 714-727.
- Chaisooktasin, N., Chimruang, J., Worasakwutiphong, S., & Tansalarak, R. (2023). Three-dimensional Changes of Maxillary Alveolar Morphology After Using Modified Nasoalveolar Molding in Patients with Complete Unilateral Cleft lip and Palate. *Cleft Palate Craniofacial Journal*, 60(8), 928-937.
- Darvann, T. A., Hermann, N. V., Ersbøll, B. K., Kreiborg, S., & Berkowitz, S. (2007). Palatal surface area of maxillary plaster casts-A comparison between two-dimensional and three-dimensional measurements. *Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 44(4), 381-390.
- El-Ashmawi, N. A., Fayed, M. M. S., El-Beialy, A., & Attia, K. H. (2022). Evaluation of the Clinical Effectiveness of Nasoalveolar Molding (NAM) Using Grayson Method Versus Computer-Aided Design NAM (CAD/NAM) in Infants With Bilateral Cleft Lip and Palate: A Randomized Clinical Trial. *Cleft Palate-Craniofacial Journal*, 59(3), 377-389.

- Gong, X., Dang, R., Xu, T., Yu, Q., & Zheng, J. (2020). Full Digital Workflow of Nasoalveolar Molding Treatment in Infants with Cleft Lip and Palate. *The Journal of Craniofacial Surgery*, 31(2), 367-371.
- Manosudprasit, M., Chongcharueyskul, P., Wangsrimonkol, T., & Pisek, P. (2015). Presurgical Nasoalveolar Molding Techniques for a Complete Unilateral Cleft Lip and Palate Infant: A Case Report Case Report. *J Med Assoc Thai*, 98, S234-S242.
- Mishima, K., Sugahara, T., Mori, Y., & Sakuda, M. (1996). Three-dimensional comparison between the palatal forms in complete unilateral cleft lip and palate with and without Hotz plate from cheiloplasty to palatoplasty. *Cleft Palate Craniofac J*, 33(4), 312-317.
- Parakarn, H., Pisek, P., & Wangsrimongkol, B. (2023). A new perspective of digital nasoalveolar molding therapy in patients with complete cleft lip and palate. *European Journal of Orthodontics EOS2023 Abstracts*, 45(6), e1-e419.
- Prasongvaranon, V., Pisek, P., Manosudprasit, A., & Punyavong, P. (2020). Effects of Khon Kaen University Presurgical Nasoalveolar Molding Device on Maxillary Dimension in Complete Unilateral Cleft Lip and Palate Patients: A Full Protocol Evaluation. *Khon Kaen Dent J*, 23(1), 43-51.
- Saad, M. S., Fata, M., Farouk, A., Habib, A. M. A., Gad, M., Tayel, M. B., & Marei, M. K. (2020). Early Progressive Maxillary Changes with Nasoalveolar Molding: Randomized Controlled Clinical Trial. *JDR Clin Trans Res*, 5(4), 319-331.
- Schiebl, J., Bauer, F. X., Grill, F., & Loeffelbein, D. J. (2020). RapidNAM: Algorithm for the Semi-Automated Generation of Nasoalveolar Molding Device Designs for the Presurgical Treatment of Bilateral Cleft Lip and Palate. *IEEE Trans Biomed Eng*, 67(5), 1263-1271.
- Shetye, P. R., & Grayson, B. H. (2017). NasoAlveolar molding treatment protocol in patients with cleft lip and palate. *Seminars in Orthodontics*, 23(3), 261-267.
- Sillman, J. H. (1964). Dimensional changes of the dental arches: Longitudinal study from birth to 25 years. *American Journal of Orthodontics*, 50(11), 824-842.
- Taneva, E., Kusnoto, B., & Evans, C. A. (2015). *3D Scanning, Imaging, and Printing in Orthodontics*. InTech.
- Thakur, S., Jishad, C., Singhal, P., & Chauhan, D. (2021). Comparative clinical evaluation of modified and conventional Grayson's presurgical nasoalveolar molding technique in infants with complete unilateral cleft lip and palate. *Dental Research Journal*, 68, 18.
- Zheng, J., He, H., Kuang, W., & Yuan, W. (2020). Novel Three-Dimensional Coordinate System to Analyze Alveolar Molding Effects of Pre-Surgical Nasoalveolar Molding on Infants With Non-Syndromic Unilateral Cleft Lip and Palate. *The Journal of Craniofacial Surgery*, 31(3), 653-657.

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: © 2024 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).