

JDAT



Journal of The Dental Association of Thailand

Volume 76 Number 3 July - September 2026

www.jdat.org

ISSN 2730-4280





วิทยาลัยการทันตแพทยศาสตร์
ปีที่ 76 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม - กันยายน 2569 | e-ISSN 2730-4280

ทันตแพทยสมาคมแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

THE DENTAL ASSOCIATION OF THAILAND

Advisory Board

Asst. Prof. Anonknart	Bhakdinaronk
Dr. Charmary	Reanamporn
Assoc. Prof. Porjai	Ruangstri
Lt. Gen. Nawarut	Soonthornwit
Dr. Werawat	Satayanurug
Assoc. Prof. Wacharaporn	Tasachan
Dr. Anuchar	Jitjaturunt
Dr. Prinya	Pathomkulmai

Board of Directors 2025 - 2027

President	Assoc. Prof. Dr. Sirivimol	Srisawasdi
President Elect	Dr. Adirek	Sriwatanawongsa
1 st Vice-President	Assoc. Prof. Dr. Nirada	Dhanesuan
2 nd Vice-President	Asst. Prof. Dr. Sutee	Suksudaj
Treasurer	Assoc. Prof. Poranee	Berananda
Secretary General	Dr. Chavalit	Karnjanaopaswong
Deputy Secretary General and National Liaison Officer	Lt. Col. Thanasak	Thumbuntu
Chairman of the Foreign Affairs Committee	Asst. Prof. Ekachai	Chunhacheevachaloke
Editor	Dr. Ekamon	Mahapoka
Executive Committee	Clinical Prof. Pusadee	Yotnuengnit
	Assist. Prof. Suchit	Poolthong
	Clinical Prof. Dr. Sirichai	Kiattavorncharoen
	Clinical Prof. Dr. Siriruk	Nakornchai
	Asst. Prof. Piriya	Cherdsatirakul
	Dr. Terdsak	Utasri
	Prof. Dr. Thanaphum	Osathanon
	Dr. Thornkanok	Pruksamas
	Asst. Prof. Taksid	Charasseangpaisarn
	Dr. Adisa	Suthirathikul

วิทยาลัยทันตแพทยศาสตร์

JOURNAL OF THE DENTAL ASSOCIATION OF THAILAND

Advisory Board Assoc. Prof. Porjai Ruangsri Assist. Prof. Phanomporn Vanichanon
 Assoc. Prof. Dr. Patita Bhuridej Prof. Dr. Teerasak Damrongrungruang

Editor Dr. Ekamon Mahapoka

Associate Editors Prof. Dr. Waranun Buajeeb
 Assoc. Prof. Dr. Siriruk Nakornchai
 Assoc. Prof. Dr. Nirada Dhanesuan

Editorial Board

Assoc. Prof. Dr. Chaiwat Maneenut	<i>(Chulalongkorn University, Thailand)</i>
Assist. Prof. Dr. Yaowaluk Ngoenwiwatkul	<i>(Mahidol University, Thailand)</i>
Prof. Dr. Anak Iamaroon	<i>(Chiang Mai University, Thailand)</i>
Assist. Prof. Dr. Lertrit Sarinnaphakorn	<i>(Chulalongkorn University, Thailand)</i>
Prof. Dr. Suttichai Krisanaprakornkit	<i>(Chiang Mai University, Thailand)</i>
Assoc. Prof. Dr. Somsak Mitirattanaku	<i>(Mahidol University, Thailand)</i>
Assist. Prof. Dr. Ichaya Yiemwattana	<i>(Naresuan University, Thailand)</i>
Prof. Boonlert Kukiattrakoon	<i>(Prince of Songkla University, Thailand)</i>
Assist. Prof. Dr. Chootima Ratisoontom	<i>(Chulalongkorn University, Thailand)</i>
Assoc. Prof. Dr. Oranat Matungkasombut	<i>(Chulalongkorn University, Thailand)</i>
Assist. Prof. Dr. Napapa Aimjirakul	<i>(Srinakharinwirot University, Thailand)</i>
Assist. Prof. Dr. Vanthana Sattabanasuk	<i>(Royal College of Dental Surgeons, Thailand)</i>
Assist. Prof. Dr. Sutee Suksudaj	<i>(Thammasat University, Thailand)</i>
Assoc. Prof. Kajorn Kungsadalpipob	<i>(Chulalongkorn University, Thailand)</i>
Assoc. Prof. Dr. Supatchai Boonpratham	<i>(Mahidol University, Thailand)</i>
Dr. Jaruma Sakdee	<i>(Srinakharinwirot University, Thailand)</i>
Assist. Prof. Dr. Aroonwan Lam-ubol	<i>(Srinakharinwirot University, Thailand)</i>
Prof. Dr. Thantrira Pornraveetus	<i>(Chulalongkorn University, Thailand)</i>
Assoc. Prof. Pintu-On Chantarawatit	<i>(Chulalongkorn University, Thailand)</i>
Assoc. Prof. Wannakorn Sriarj	<i>(Chulalongkorn University, Thailand)</i>
Assist. Prof. Dr. Pisha Pittayapat	<i>(Chulalongkorn University, Thailand)</i>
Prof. Dr. Antheunis Versluis	<i>(The University of Tennessee Health Science Center, USA)</i>
Assoc. Prof. Dr. Hiroshi Ogawa	<i>(Niigata University, JAPAN)</i>
Assoc. Prof. Dr. Anwar Merchant	<i>(University of South Carolina, USA)</i>
Dr. Brian Foster	<i>(NIAMS/NIH, USA)</i>
Dr. Ahmed Abbas Mohamed	<i>(University of Warwick, UK)</i>

Editorial Staff Pimpanid Laomana
 Anyamanee Kongcheepa

Manage Assoc. Prof. Poranee Berananda
 Journal published trimonthly. Foreign subscription rate US\$ 200 including postage.
 Publisher and artwork: Rungsilp Printing Co., Ltd
 Please send manuscripts to Dr. Ekamon Mahapoka

Address: 71 Ladprao 95 Wangtonglang, Bangkok 10310, Thailand E-mail: jdateditor@thaidental.or.th

Instruction for Authors

The Journal of the Dental Association of Thailand (*J DENT ASSOC THAI*) supported by the Dental Association of Thailand, is an online open access and peer-reviewed journal. The journal welcomes for submission on the field of Dentistry and related dental science. We publish 4 issues per year in January, April, July and October.

» Categories of the Articles «

1. Review Articles: a comprehensive article with technical knowledge collected from journals and/or textbooks which is profoundly criticized or analyzed, or tutorial with the scientific writing.

2. Case Reports: a clinically report of an update or rare case or case series related to dental field which has been carefully analyzed and criticized with scientific observation.

3. Original Articles: a research report which has never been published elsewhere and represent new significant contributions, investigations or observations, with appropriate experimental design and statistical analysis in the filed of dentistry.

» Manuscript Submission «

The Journal of the Dental Association of Thailand welcome submissions from the field of dentistry and related dental science through only online submission. The manuscript must be submitted via <http://www.jdat.org>. Registration by corresponding author is once required for the article's submission. We accept articles written in both English and Thai. However, for Thai article, English abstract is required whereas for English article, there is no need for Thai abstract submission. The main manuscript should be submitted as .doc (word97-2003). All figures, and tables should be submitted as separated files (1 file for each figure or table). For the acceptable file formats and resolution of image will be mentioned in 8. of manuscript preparation section.

» Scope of Article «

Journal of Dental association of Thailand (JDAT) is a quarterly peer-reviewed scientific dental journal aims to the dissemination and publication of new knowledges and researches including all field of dentistry and related dental sciences

» Manuscript Preparation «

1. For English article, use font to TH Sarabun New Style size 14 in a standard A4 paper (21.2 x 29.7 cm) with 2.5 cm margin on a four sides. The manuscript should be typewritten.

2. For Thai article, use font of TH Sarabun New Style size 14 in a standard A4 paper (21.2 x 29.7 cm) with 2.5 cm margin on a four sides. The manuscript should be typewritten

with 1.5 line spacing. Thai article must also provide English abstract. All reference must be in English. For the article written in Thai, please visit the Royal Institute of Thailand (<http://www.royin.go.th>) for the assigned Thai medical and technical terms. The original English words must be put in the parenthesis mentioned at the first time.

3. Numbers of page must be placed on the top right corner. The length of article should be 10-12 pages including the maximum of 5 figures, 5 tables and 40 references for original articles. (The numbers of references are not limited for review article).

4. Measurement units such as length, height, weight, capacity etc. should be in metric units. Temperature should be in degree Celsius. Pressure units should be in mmHg. The hematologic measurement and clinical chemistry should follow International System Units or SI.

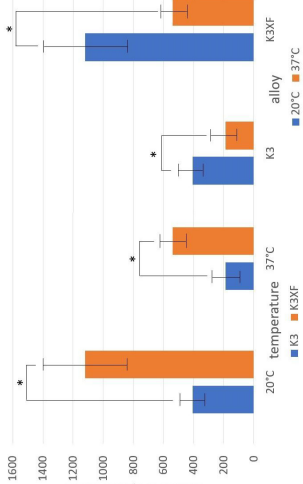
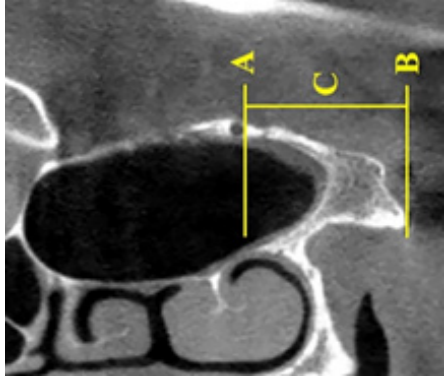
5. Standard abbreviation must be used for abbreviation and symbols. The abbreviation should not be used in the title and abstract. Full words of the abbreviation should be referred at the end of the first abbreviation in the content except the standard measurement units.

6. Position of the teeth may use full proper name such as maxillary right canine of symbols according to FDI two-digit notation and write full name in the parenthesis after the first mention such as tooth 31 (mandibular left central incisor)

7. Table: should be typed on separate sheets and number consecutively with the Arabic numbers. Table should self-explanatory and include a brief descriptive title. Footnotes to tables indicated by lower-case superscript letters are acceptable.

8. Figure : the photographs and figures must be clearly illustrated with legend and must have a high resolution and acceptable file types to meet technical evaluation of JDAT that is adapted from file submissions specifications of Pubmed (<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/pub/filespec-images/#int-disp>). We classify type of figure as 3 types following: line art, halftones and combo (line art and halftone combinations) The details of description, required format, color mode and resolution requirement are given in table below.

Numbers, letters and symbols must be clear and even throughout which used in Arabic form and limited as necessary. During the submission process, all photos and tables must be submitted in the separate files. Once the manuscript is accepted, an author may be requested to resubmit the high quality photos.

Image type	Description	Example	Recommended format	Color mode	Resolution
Line art	An image which is composed of line and text and is not contained of tonal or shading areas.	 <p>Number of Cycle to Failure</p> <p>alloy</p> <p>20°C 37°C</p> <p>K3 K3XF</p>	tif. of eps.	Monochrome 1-bit of RGB	900-1200 dpi
Half tone	A continuous tone photograph which does not compose of text.		tif.	RGB of Graycale	300 dpi
Combo	Combination of line art and half tone.		tif. of eps.	RGB of Graycale	500-900 dpi

» Contact Address «

Editorial Staff of JDAT

The Dental Association of Thailand

71 Ladprao 95, Wangtonglang, Bangkok 10310, Thailand.

Email: jdateditor@thaidental.or.th Tel: +669-7007-0341

» Preparation of the Research Articles «

1. Title Page

The first page of the article should contain the following information

- Category of the manuscript
- Article title
- Authors' names and affiliated institutions
- Author's details (name, mailing address, E-mail,

telephone and FAX number)

2. Abstract

The abstract must be typed in only paragraph. Only English abstract is required for English article. Both English and Thai abstract are required for Thai article and put in separate pages. The abstract should contain title, objectives, methods, results and conclusion continuously without heading on each section. Do not refer any documents, illustrations or tables in the abstract. The teeth must be written by its proper name not by symbol. Do not use English words in Thai abstract but translate or transliterate it into Thai words and do not put the original words in the parenthesis. English abstract must not exceed 300 words. Key words (3-5 words) are written at the end of the abstract in alphabetical order with comma (,) in-between.

3. Text

The text of the original articles should be organized in section as follows

- **Introduction:** indicates reasons or importances of the research, objectives, scope of the study. Introduction should review new documents in order to show the correlation of the contents in the article and original knowledge. It must also clearly indicate the hypothesis.

- **Materials and Methods:** indicate details of materials and methods used in the study for readers to be able to repeat such as chemical product names, types of experimental animals, details of patients including sources, sex, age etc. It must also indicate name, type, specification, and other information of materials for each method. For a research report performed in human subjects, human material samples, human participants and animal samples, authors should indicate that the study was performed according to the Experiment involving human or animal subjects such as Declaration of Helsinki 2000, available at: <https://www.wma.net/what-we-do/medical-ethics/declaration-of-helsinki/doh-oct2000/>, or has been approved by

the ethic committees of each institute (*ethic number is required).

- **Results:** Results are presentation of the discovery of experiment or researches. It should be categorized and related to the objectives of the articles. The results can be presented in various forms such as words, tables, graphs of illustrations etc. Avoid repeating the results both untables and in paragraph =. Emphasize inly important issues.

- **Discussion:** The topics to be discussed include the objectives of the study, advantages and disadvantages of materials and methods. However, the important points to be especially considered are the experimental results compared directly with the concerned experimental study. It should indicate the new discovery and/or important issues including the conclusion from the study. New suggestion problems and informed in the discussion and indicate the ways to make good use of the results.

- **Conclusion:** indicates the brief results and the conclusion of the analysis.

- **Acknowledge:** indicates the institute or persons helping the authors, especially on capital sources of researches and numbers of research funds (if any).

- **Conflicts of interest :** for the transparency and helping the reviewers assess any potential bias. JDAT requires all authors to declare any competing commercial interests in conjunction with the submitted work.

- **Reference:** include every concerned document that the authors referred in the articles. Names of the journals must be abbreviated according to the journal name lists n "Index Medicus" published annually of from the website <http://www.nlm.nih.gov>

» Writing the References «

The references of both Thai and English articles must be written only in English. Reference system must be Vancouver reference style using Arabic numbers, making order according to the texts chronologically. Titles of the Journal must be in Bold and Italics. The publication year, issue and pages are listed respectively without volume.

Sample of references from articles in Journals

- Authors

Zhao Y, Zhu J: *In vivo* color measurement of 410 maxillary anterior teeth. *Chin J Dent Res* 1998;1(3):49-51.

- Institutional authors

Council in Dental Materials and Devices. New American Dental Association Specification No.27 for direct filling resins. *J Am Dent Assoc* 1977;94(6):1191-4

- No author

Cancer in South Africa [editorial]. *S Afr Med J* 1994;84:15

Sample of references from books and other monographs

- Authors being writers

Neville BW, Damn DD, Allen CM, Bouquot JE.

Oral and maxillofacial pathology. Philadelphia: WB Saunders; 1995. P. 17-20

- Authors being both writer and editor

Norman IJ, Redfern SJ, editors. Mental health care for the elderly people. New York: Churchill Livingstone; 1996.

- Books with authors for each separate chapter

- Books with authors for each separate chapter

and also have editor

Sanders BJ, Handerson HZ, Avery DR. Pit and fissure sealants; In: McDonald RE, Avery DR, editors. Dentistry for the child and adolescent. 7th ed. St Louis: Mosby; 2000. P. 373-83.

- Institutional authors

International Organization for Standardization. ISO/TR 11405 Dental materials-Guidance on testing of adhesion to tooth structure. Geneva: ISO; 1994.

Samples of references from academic conferences

- Conference proceedings

Kimura J, Shibasaki H, editors. R The Journal of the Dental Association of Thailand (JDAT): (ISSN 2408-1434) online open access and double-blind peer review journal and also supported by the Dental Association of Thailand advances in clinical neurophysiology. Proceeding of the 10th International Congress of EMG and Clinical Neurophysiology; 1995 Oct 15-19; Kyoto, Japan. Amsterdam; Elsevier; 1996.

- Conference paper

Hotz PR. Dental plaque control and caries. In: Lang PN, Attstrom R, Loe H, editors. Proceedings of the European Work shop on Mechanical Plaque Control; 1998 May 9-12; Berne, Switzerland. Chicago: Quintessence Publishing; 1998. p. 25-49.

- Documents from scientific or technical reports

Fluoride and human health. WHO Monograph; 1970. Series no.59.

Samples of reference from thesis

Muandmingsuk A. The adhesion of a composite resin to etched enamel of young and old teeth [dissertation]. Texas: The University of Texas, Dental Branch at Houston; 1974.

Samples of reference from these articles are only accepted in electronic format

- Online-only Article (With doi (digital identification object number))

Rasperini G, Acunzo R, Limiroli E. Decision making in gingival rec experience. *Clin Adv Periodontics* 2011;1: 41-52. doi:10.1902 cap.2011.1000002.

- Online only article (without doi)

Aboud S. Quality improvement initiative in nursing homes: the ANA acts in an advisory role. *Am J Nurs* 2002; 102(6)[cited 2002 Aug 12] Available from: <http://nursingworld.org/AJN/2002/june/WaWatch.htm>Article

Samples of references from patents/petty patents

- Patent

Pagedas AC, inventor; Ancel Surgical R&D Inc., assignee. Flexible endoscopic grasping and cutting device and positioning tool assembly. United States patent US 20020103498. 2002 Aug 1.

- Petty patent

Priprem A, inventor, Khon Kaen University. Sunscreen gel and its manufacturing process. Thailand petty patent TH1003001008. 2010 Sep 20.

» Preparation of the Review articles and Case reports «

Review articles and case reports should follow the same format with separate pages for abstract, introduction, discussion, conclusion, acknowledgement and references.

» The Editorial and Peer Review Process «

The submitted manuscript will be reviewed by at least 2 qualified experts in the respective fields. In general, this process takes around 4-8 weeks before the author be noticed whether the submitted article is accepted for publication, rejected, or subject to revision before acceptance.

The author should realize the importance of correct format manuscript, which would affect the duration of the review process and the acceptance of the articles. The Editorial office will not accept a submission if the author has not supplied all parts of the manuscript as outlined in this document.

» Copyright «

Upon acceptance, copyright of the manuscript must be transferred to the Dental Association of Thailand.

PDF files of the articles are available at <http://www.jdat.org>

Publication fee for journals: Free for Black and white printing this article. The price of color printing is extra charged 10,000 bath/article/1,500 copy (vat included).

Note: Color printing of selected article is considered by editorial board. (no extra charge)

» Updated January, 2024 «

วิทยาศาสตร์ทันตแพทยศาสตร์

JOURNAL OF THE DENTAL ASSOCIATION OF THAILAND

สารบัญ

ปีที่ 76 ฉบับที่ 3 กรกฎาคม - กันยายน พ.ศ. 2569

Contents

Volume 76 Number 3 July - September 2026

บทความปริทัศน์

ชีววิทยาของภาวะเซลล์เสื่อมวัยในโรคปริทันต์อักเสบ

สุราษฎร์ อินทร์กลับ

กัณตภณ รัตนพุกษสกุล

136

Review Article

The Biology of Cellular Senescence in Periodontitis

Surat Inklub

Kantapon Rattanaprakskul

แนวปฏิบัติที่ดีที่สุดในการกำจัดการปนเปื้อนของระบบน้ำ
ในยูนิตทันตกรรม

รัชณี อัมพรอร่ามเวทย์

145

Best Practices in Dental Unit Waterlines
Decontamination

Ruchanee Ampornaramveth

บทวิทยาการ

อัตราการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่ และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง
ประภารัตน์ ตั้งจิตเพียรพงศ์

156

Original Article

Survival Rate of Space Maintainers and Related
Factors: A Retrospective Study

Praparat Tungjitphanpong

School-Based Oral Health Promotion Program
for Visually Impaired Adolescent in Thailand:
A Before-And-After Study

Nipaporn Urwannachotima

Phasika Chamnanchang

Pirada Pong-apiraksakul

Pattaranun Uppamanoraset

Palinee Detsomboonrat

170

School-Based Oral Health Promotion Program
for Visually Impaired Adolescent in Thailand:
A Before-And-After Study

Nipaporn Urwannachotima

Phasika Chamnanchang

Pirada Pong-apiraksakul

Pattaranun Uppamanoraset

Palinee Detsomboonrat

Anatomical Tracing of Mandibular Third Molars
using Deep-Learning Models

Sanicha Yaklai

Raknatee Chokluechai

Chaloemrit Phrueksotsai

Chaklam Silpasuwanchai

Soranun Chantarangsu

Phonkit Sinpitaksakul

180

Anatomical Tracing of Mandibular Third Molars
using Deep-Learning Models

Sanicha Yaklai

Raknatee Chokluechai

Chaloemrit Phrueksotsai

Chaklam Silpasuwanchai

Soranun Chantarangsu

Phonkit Sinpitaksakul

Front cover image: adapted from Figure 1 The contamination of microorganisms in the water delivery system of dental units is caused by the formation of biofilm within the unit's waterlines. Once a biofilm forms inside the tubing, it acts as a reservoir, harboring and continuously releasing microorganisms into the water. Therefore, even if the unit is supplied with clean or sterile water, microbial contamination can still be detected at the water outlet unless effective measures are in place to control or eliminate biofilm. (see *Ampornaramveth, page 147 for detail*)

ชีววิทยาของภาวะเซลล์เสื่อมวัยในโรคปริทันต์อักเสบ

The Biology of Cellular Senescence in Periodontitis

สุราษฏร์ อินทร์กลับ¹ และ กันตภณ รัตนพฤกษ์สกุล¹

Surat Inklub¹ and Kantapon Rattanapruekskul¹

¹ภาควิชาปริทันต์วิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

¹Department of Periodontology, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

บทคัดย่อ

ภาวะเซลล์เสื่อมวัย เป็นกลไกทางชีวภาพของร่างกายที่ตอบสนองต่อความเสียหายของเซลล์ หรือ ดีเอ็นเอ ส่งผลให้เซลล์หยุดการแบ่งตัวอย่างถาวร เซลล์เสื่อมวัยสามารถหลั่งสารชีวโมเลกุลหลายชนิดที่มีฤทธิ์ก่อการอักเสบ ซึ่งเรียกรวมว่า “กลุ่มสารพีโนไทป์ที่หลั่งจากเซลล์เสื่อมวัย” (senescence-associated secretory phenotype; SASP) และมีบทบาทสำคัญต่อการเกิดพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อ แม้ภาวะนี้จะถูกมองว่าเป็นกลไกป้องกันการเกิดมะเร็งในระยะเริ่มต้น แต่การสะสมของเซลล์เสื่อมวัยตามอายุมีส่วนทำให้เกิดความผิดปกติของเนื้อเยื่ออย่างเรื้อรัง และถือเป็นหนึ่งในลักษณะสำคัญของกระบวนการเสื่อมวัย ปัจจุบันมีหลักฐานเพิ่มขึ้นที่สนับสนุนการพบภาวะเซลล์เสื่อมวัยในผู้สูงอายุ และในโรคที่สัมพันธ์กับอายุหลายชนิด นอกจากนี้ยังพบเซลล์เสื่อมวัยในผู้ป่วยโรคปริทันต์อักเสบที่มีอายุน้อย ซึ่งสะท้อนบทบาทสำคัญของภาวะนี้ในพยาธิกำเนิดของโรคปริทันต์อักเสบ บทความปริทัศน์ฉบับนี้รวบรวมองค์ความรู้ปัจจุบันเกี่ยวกับบทบาทของภาวะเซลล์เสื่อมวัยในพยาธิสภาพของโรคปริทันต์อักเสบ โดยเน้นกลไกระดับโมเลกุล ตัวบ่งชี้ภาวะเซลล์เสื่อมวัย และแนวทางการรักษาใหม่ ได้แก่ ยาเป้าหมายเซลล์เสื่อมวัย และสารที่ควบคุมกลุ่มสารพีโนไทป์ที่หลั่งจากเซลล์เสื่อมวัย เพื่อสนับสนุนการประเมินความเสี่ยงและการวางแผนการรักษาเฉพาะบุคคลในอนาคต

คำสำคัญ: การรักษาแบบกำจัดเซลล์เสื่อมวัย, การเสื่อมวัยทางชีวภาพ, พีโนไทป์ที่หลั่งจากเซลล์เสื่อมวัย, เซลล์เสื่อมวัย, โรคปริทันต์อักเสบ

Abstract

Cellular senescence is a biological phenomenon in which cells undergo irreversible growth arrest in response to cellular stress or DNA damage. Senescent cells secrete a diverse array of bioactive molecules, collectively termed the senescence-associated secretory phenotype (SASP), which act as a reservoir of pro-inflammatory mediators and are key drivers of tissue pathology. Although initially considered a tumor-suppressive mechanism, the progressive accumulation of senescent cells with age contributes to chronic tissue dysfunction and is recognized as a hallmark of aging. Increasing evidence supports the presence of cellular senescence in the elderly population and in various age-related diseases. Notably, senescent cells have also been identified in younger individuals with periodontitis, underscoring their role in the pathogenesis of periodontal disease. This review provides current knowledge on the involvement of cellular senescence in periodontal pathology, emphasizing key molecular mechanisms, senescence-associated biomarkers, and emerging therapeutic strategies—including senotherapeutic agents and SASP-modulating compounds—to facilitate risk stratification and personalized treatment approaches in future clinical applications.

Keywords: senotherapeutics, biological aging, SASP, cellular senescence, periodontitis

Received date: Jan 7, 2026

Revised date: Mar 7, 2026

Accepted date: Mar 15, 2026

Doi: 10.14456/jdat.2026.14

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

กัณฑ์ภณ รัตนพฤษกุล ภาควิชาปริทันตวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 34 ถนนอังรีดูนังต์ แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย โทร: 02-218-8850 อีเมล: Kantapon.r@chula.ac.th

Correspondence to:

Kantapon Rattanaprakul, Department of Periodontology, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, 34 Henri-Dunant Road, Wangmai, Patumwan, Bangkok, 10330, Thailand. Tel: 02-218-8850 Email: Kantapon.r@chula.ac.th

บทนำ

โรคปริทันต์อักเสบเป็นภาวะอักเสบเรื้อรังของเนื้อเยื่อปริทันต์ อาทิ เหงือก ลูกกลมไปจนมีการทำลายของกระดูกเข้าฟัน ซึ่งมีสาเหตุเริ่มต้นจากการสะสมของจุลชีพในคราบจุลินทรีย์ กระตุ้นให้ระบบภูมิคุ้มกันของร่างกายตอบสนองต่อการติดเชื้อ หากการตอบสนองเกินจุดสมดุล อาจนำไปสู่การทำลายเนื้อเยื่อปริทันต์มากกว่าการปกป้อง¹ ในปัจจุบันมีการศึกษามากขึ้นว่า โรคปริทันต์อักเสบมิได้เป็นเพียงผลจากการติดเชื้อจุลชีพในคราบจุลินทรีย์เท่านั้น แต่ยังเกี่ยวข้องกับกลไกภายในระดับเซลล์ของร่างกาย โดยเฉพาะภาวะเซลล์เสื่อมวัย (cellular senescence) ซึ่งเป็นภาวะที่เซลล์หยุดแบ่งตัวอย่างถาวรเพื่อตอบสนองต่อความเสียหายของเซลล์ ดีเอ็นเอ หรือ ได้รับความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน แม้เซลล์เสื่อมวัยเข้าสู่ภาวะที่เซลล์หยุดแบ่งตัวอย่างถาวร แต่เซลล์เหล่านี้ยังคงมีการทำงานทางเมแทบอลิซึม และสามารถหลั่งสารชีวโมเลกุลออกมา โดยเฉพาะกลุ่มสารพีโนไทป์ที่หลังจากเซลล์เสื่อมวัย (senescence-associated secretory phenotype หรือ SASP) ซึ่งกระตุ้นการอักเสบเรื้อรัง รบกวนสมดุลการทำงานของเนื้อเยื่อ ส่งผลให้เกิดพยาธิสภาพของเนื้อเยื่อ^{2,3} มีการศึกษาพบว่ารอยโรคปริทันต์มีการสะสมของเซลล์เสื่อมวัย และการแสดงออกของตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (biomarkers) เช่น โปรตีน p16 เอนไซม์เอสเอ-เบตา-กาแลคโตซิเดส (SA- β -galactosidase) และสารภูมิคุ้มกันกลุ่มไซโตไคน์ที่เกี่ยวข้องกับกลุ่มสารพีโนไทป์ที่หลังจากเซลล์เสื่อมวัย สะท้อนความเกี่ยวข้องระหว่างภาวะเซลล์เสื่อมวัยกับกระบวนการเสื่อมถอยของเนื้อเยื่อในโรคปริทันต์อักเสบ โดยเฉพาะในกลุ่มที่มีปัจจัยเสี่ยงเรื้อรัง เช่น การสูบบุหรี่ หรือ โรคเบาหวาน^{2,3} บทความปริทัศน์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอองค์ความรู้เกี่ยวกับบทบาทของภาวะเซลล์เสื่อมวัยในโรคปริทันต์อักเสบ ตั้งแต่กลไกระดับโมเลกุล ผลกระทบของกลุ่มสารพีโนไทป์ที่หลังจากเซลล์เสื่อมวัย การประเมินตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ ตลอดจนแนวทางการรักษาใหม่ เช่น ยากลุ่มกำจัดเซลล์เสื่อมวัย (senolytics) ยาควบคุมการหลั่งสารจากเซลล์เสื่อมวัย (senomorphics) และแนวคิดการวินิจฉัยภาวะเสื่อมวัย (gerodiagnostics) เพื่อวางรากฐานสู่การดูแลรักษาแบบจำเพาะบุคคลในอนาคต

ภาวะเซลล์เสื่อมวัย (Cellular Senescence)

ภาวะเซลล์เสื่อมวัย คือ กระบวนการทางชีววิทยาที่เซลล์หยุดการแบ่งตัวอย่างถาวรเพื่อตอบสนองต่อปัจจัยกระตุ้นต่าง ๆ เช่น

การบาดเจ็บของเซลล์ (cellular injury) ความเสียหายของดีเอ็นเอ (DNA damage) การสั้นลง และการทำงานที่ผิดปกติของเทโลเมียร์ (telomere shortening and dysfunction) ความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative stress) และการกระตุ้นด้วยยีนก่อมะเร็ง (oncogene) และการเปลี่ยนแปลงของการควบคุมยีนในระดับอีพีเจเนติก (epigenetic regulation) โดยเซลล์ในภาวะเสื่อมวัยยังคงมีชีวิต และเมแทบอลิซึม แต่ไม่สามารถกลับเข้าสู่วัฏจักรเซลล์ (cell cycle) ได้อีก ทั้งนี้เซลล์เสื่อมวัยจะหลั่งสารโมเลกุลกลุ่มที่มีฤทธิ์กระตุ้นการอักเสบ และส่งผลต่อสภาพแวดล้อมของเนื้อเยื่อโดยรอบ เรียกรวมว่า กลุ่มพีโนไทป์ที่หลังจากเซลล์เสื่อมวัย มีบทบาทสำคัญต่อสภาวะแวดล้อมของเนื้อเยื่อ และการเกิดพยาธิสภาพ⁴⁻⁶

แนวคิดนี้ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย Hayflick และ Moorhead ในปี ค.ศ. 1961 จากการศึกษาโดยการเพาะเลี้ยงเซลล์ไฟโบรบลาสต์ของมนุษย์ชนิดดิพลอยด์ (diploid human fibroblasts) มีขีดจำกัดในการแบ่งตัว ก่อนเข้าสู่ภาวะหยุดแบ่งตัวอย่างถาวร ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า ขีดจำกัดของเฮย์ฟลิค (Hayflick limit) ซึ่งถือเป็นหลักฐานแรกของการเสื่อมวัยทางชีวภาพที่เกิดจากกระบวนการภายในเซลล์ โดยไม่จำเป็นต้องมีการกลายพันธุ์ของยีน หรือ การติดเชื้อจากภายนอก ภาวะนี้แบ่งได้เป็น 3 ระยะ ได้แก่ ระยะที่ 1 (ระยะเริ่มต้น) ซึ่งเป็นช่วงปรับตัวหลังการเพาะเลี้ยงที่เซลล์ยังมีอัตราการแบ่งตัวต่ำ ระยะที่ 2 (ระยะเพิ่มจำนวน) เซลล์มีการแบ่งตัวอย่างรวดเร็ว และสม่ำเสมอ และระยะที่ 3 (ระยะเสื่อมวัย) เซลล์แสดงลักษณะเสื่อมวัย เช่น การลดลงของการแบ่งตัว การสะสมของเศษซากเซลล์ (cellular debris) และการเปลี่ยนรูปร่างทางสัณฐานวิทยา แม้ว่าเซลล์ในระยะที่ 3 จะยังมีชีวิต และยังคงสร้างพลังงาน แต่ไม่สามารถกลับมาแบ่งตัวได้อีก จึงถือว่าอยู่ในภาวะการหยุดการเจริญเติบโตแบบถาวร (irreversible growth arrest) ซึ่งแตกต่างจากภาวะการตายของเซลล์แบบอะพอพโทซิส (apoptosis) หรือ เนโครซิส (necrosis) โดยการค้นพบนี้วางรากฐานสำคัญต่อความเข้าใจเรื่องภาวะเซลล์เสื่อมวัย โรคเรื้อรังที่เกี่ยวข้องกับอายุ และกลไกป้องกันมะเร็งในระดับเซลล์ในเวลาต่อมา⁷

ภาวะเซลล์เสื่อมวัย เกิดได้จากหลายปัจจัยทั้งสิ่งกระตุ้นภายนอก และความผิดปกติภายในเซลล์ โดยมีลักษณะร่วมคือการหยุดแบ่งตัวอย่างถาวร ซึ่งควบคุมผ่านวิถีสัญญาณ p53/p21 และ/หรือ p16 ที่มีบทบาทในการหยุดเซลล์ที่ระยะ G1 ของวัฏจักรเซลล์

ประเภทแรก คือ ภาวะเซลล์เสื่อมวัยจากการแบ่งตัวซ้ำ (replicative senescence) ซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติจากการที่เทโลเมียร์ (telomere) หดสั้นลงทุกครั้งทีเซลล์แบ่งตัว จนถึงระดับวิกฤตจะกระตุ้นการตอบสนองต่อความเสียหายของดีเอ็นเอ (DNA damage response; DDR) ผ่านวิถีสัญญาณ p53/p21 โดย p21 ทำหน้าที่ยับยั้งเอนไซม์ไซคลิน-ดีเพนเดนตีไคเนส 2 (CDK2) ส่งผลให้เซลล์หยุดที่ระยะ G1 อย่างถาวร ทั้งนี้ ในบางเซลล์อาจพบการแสดงออกของ p16 เพิ่มขึ้นในระยะท้ายของกระบวนการ ซึ่งช่วยเสริมเสถียรภาพของภาวะเสื่อมวัยผ่านการยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไซคลินดีเพนเดนตีไคเนส 4/6 (CDK4/6) ทำให้โปรตีนรีทิโนบลาสโตมา (retinoblastoma protein; Rb) คงอยู่ในรูปแบบที่เติมหมู่ฟอสเฟตน้อยเกิน (hypophosphorylated) ประเภทที่สอง คือ ภาวะเซลล์เสื่อมวัยที่เกิดจากยีนก่อมะเร็ง (oncogene-induced senescence; OIS) เช่น การกระตุ้นด้วยยีน RAS หรือ BRAF ซึ่งนำไปสู่ภาวะเครียดจากการจำลองดีเอ็นเอ (replication stress) และกระตุ้นให้เกิดการตอบสนองต่อความเสียหายของดีเอ็นเอ โดยไม่ต้องอาศัยการสั้นลงของเทโลเมียร์ กลไกนี้มักเกี่ยวข้องกับวิถีสัญญาณ p53/p21 ร่วมกับ p16 ในการยับยั้งการแบ่งเซลล์ เพื่อป้องกันการเปลี่ยนแปลงไปสู่เซลล์มะเร็งในระยะเริ่มต้น ประเภทที่สาม คือ ภาวะเซลล์เสื่อมก่อนวัยจากความเครียด (stress-induced premature senescence; SIPS) ซึ่งเกิดจากสิ่งกระตุ้นภายนอก เช่น ความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน (oxidative stress) รั้งสี ไอออนไนซ์ การอักเสบเรื้อรัง หรือ การติดเชื้อ โดยไม่ต้องมีการสั้นลงของเทโลเมียร์ กลไกนี้สัมพันธ์กับการแสดงออกของโปรตีน p16 ซึ่งยับยั้งการทำงานของเอนไซม์ไซคลินดีเพนเดนตีไคเนส 4/6 และคงสภาพโปรตีนรีทิโนบลาสโตมาคงอยู่ในรูปแบบที่เติมหมู่ฟอสเฟตน้อยเกิน ทำให้เซลล์หยุดที่ระยะ G1 อย่างถาวร⁴ นอกจากนี้ยังมีกลไกอื่นที่เกิดในบริบทเฉพาะ เช่น ภาวะเซลล์เสื่อมวัยจากการรักษา (therapy-induced senescence) ที่เกิดจากเคมีบำบัด หรือ รั้งสี ภาวะเซลล์เสื่อมวัยในช่วงพัฒนาการ (developmental senescence) ซึ่งควบคุมโดยโปรตีน p21 และทรานส์ฟอร์มมิงโกรวธแฟกเตอร์-เบตา (transforming growth factor-beta; TGF- β) และภาวะเซลล์เสื่อมวัยจากการเปลี่ยนแปลงทางอีพีเจเนติก (epigenetically-induced senescence) ซึ่งมีการแสดงออกของโปรตีน p16 อย่างต่อเนื่องโดยไม่เกี่ยวข้องกับความเสียหายของดีเอ็นเอ กลไกเหล่านี้สะท้อนถึงความหลากหลายของภาวะเซลล์เสื่อมวัย และแสดงให้เห็นถึงบทบาทที่ซับซ้อนของแต่ละวิถีสัญญาณในกระบวนการเสื่อมของเนื้อเยื่อ และการดำเนินโรคต่าง ๆ^{8,9}

แม้ว่าภาวะเซลล์เสื่อมวัยจากการแบ่งตัวซ้ำ ยีนก่อมะเร็ง หรือ ความเครียดจะมีต้นเหตุ และวิถีสัญญาณที่แตกต่างกัน แต่ล้วนส่งผลให้เซลล์หยุดแบ่งตัวอย่างถาวร ซึ่งเป็นจุดเริ่มต้นของพยาธิกำเนิดของโรคเรื้อรังหลายชนิด เช่น โรคปริทันต์อักเสบ⁵ เซลล์เสื่อมวัย

มีลักษณะเด่น คือ การหลั่งสารชีวโมเลกุลจำนวนมาก หรือที่เรียกว่า กลุ่มสารพีโนไทป์ที่หลังจากเซลล์เสื่อมวัย (senescence-associated secretory phenotype; SASP) ซึ่งประกอบด้วยไซโตไคน์กระตุ้นการอักเสบ อินเตอร์ลิวคิน-1เบตา (interleukin-1 β ; IL-1 β), อินเตอร์ลิวคิน-6 (interleukin-6; IL-6) และทูเมอร์เนโครซิสแฟกเตอร์-แอลฟา (tumor necrosis factor- α ; TNF- α) รวมถึงเคโมไคน์ เช่น อินเตอร์ลิวคิน-8 (interleukin-8; IL-8) และเอนไซม์ย่อยสลายเนื้อเยื่ออย่างเมทริกซ์เมทัลโลโปรทีเนส (matrix metalloproteinases; MMPs) สารเหล่านี้มีบทบาทส่งเสริมการอักเสบเรื้อรัง และการทำลายองค์ประกอบของแมทริกซ์นอกเซลล์ และโปรตีนโครงสร้างในเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน¹⁰ ในด้านเมแทบอลิซึม เซลล์เสื่อมวัยไม่ได้อยู่ในภาวะไม่ทำงาน แต่มีการปรับการเผาผลาญเพื่อรองรับการสร้าง และการหลั่งกลุ่มสารพีโนไทป์ที่หลังจากเซลล์เสื่อมวัย โดยพบการใช้กลูโคส และไกลโคไลซิสเพิ่มขึ้นร่วมกับการกระตุ้นวิถีสัญญาณ mTOR และการสังเคราะห์โปรตีน ซึ่งสะท้อนภาวะเมแทบอลิซึมสูงในระยะต้นของภาวะเสื่อมวัย¹¹ ความผิดปกติของไมโทคอนเดรีย และการสร้างอนุมูลออกซิเจนชนิดไวต่อปฏิกิริยา (reactive oxygen species; ROS) ที่เพิ่มขึ้นสามารถกระตุ้นวิถีสัญญาณ NF- κ B และการหลั่งกลุ่มสารพีโนไทป์ที่หลังจากเซลล์เสื่อมวัยต่อเนื่อง ก่อให้เกิดวงจรการอักเสบเรื้อรังที่สัมพันธ์กับ ภาวะอักเสบจากความเสื่อมวัย (inflammaging) และแนวคิดอิมมูโนเมแทบอลิซึม (immunometabolism) ขณะที่เมื่อภาวะเสื่อมวัยดำเนินไปเป็นเวลานาน ประสิทธิภาพของไมโทคอนเดรียและการผลิตพลังงานจะลดลง ส่งผลให้ความสามารถในการซ่อมแซมเนื้อเยื่อลดลง และเกิดความเสื่อมของเนื้อเยื่อในระยะท้าย¹²⁻¹⁴

กลุ่มสารพีโนไทป์ที่หลังจากเซลล์เสื่อมวัย มีบทบาทในการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมของเนื้อเยื่อโดยรอบ และรบกวนกระบวนการฟื้นฟู โดยเฉพาะเมื่อมีการหลั่งอย่างต่อเนื่องในเซลล์เสื่อมวัย ซึ่งสามารถเหนี่ยวนำให้เซลล์ใกล้เคียงเข้าสู่ภาวะเสื่อมวัยด้วย (paracrine senescence) ก่อให้เกิดวงจรของการอักเสบเรื้อรัง และการเสื่อมของเนื้อเยื่ออย่างต่อเนื่อง^{2,15} ในโรคปริทันต์อักเสบพบการสะสมของเซลล์เสื่อมวัยในบริเวณรอยโรค ซึ่งหลั่งกลุ่มสารพีโนไทป์จากเซลล์เสื่อมวัยในระดับสูง ส่งผลต่อการกระตุ้นภูมิคุ้มกันโดยกำเนิด การทำลายเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน และการสลายกระดูกเข้าฟัน ผ่านการเพิ่มการแสดงออกของตัวกระตุ้นตัวรับนิวเคลียร์แฟกเตอร์แคปปา-บีไลแกนด์ (receptor activator of nuclear factor-kappa B ligand; RANKL) และส่งเสริมกระบวนการสร้างเซลล์สลายกระดูก ส่งผลให้เกิดการทำลายกระดูกเข้าฟัน และมีส่วนต่อการลุกลามของโรคปริทันต์อักเสบ^{2,4,6,10} นอกจากนี้ กลุ่มสารพีโนไทป์ที่หลังจากเซลล์เสื่อมวัยยังสามารถเข้าสู่กระแสเลือด ก่อให้เกิดภาวะอักเสบเรื้อรังในระดับต่ำ หรือ ภาวะอักเสบจากความเสื่อมวัย ซึ่งสัมพันธ์กับโรคเรื้อรังหลายชนิด เช่น เบาหวาน หลอดเลือดแข็ง

และมะเร็ง^{1,9,10,14} โดยมีผลลดประสิทธิภาพของระบบภูมิคุ้มกัน ผ่านการรบกวนสมดุลการทำงานของเซลล์ภูมิคุ้มกันหลายชนิด เช่น มาโครฟาจ (macrophage) ลิมโฟไซต์ชนิดที (T-lymphocytes) เซลล์เอ็นเค (natural killer cells; NK cells) และเดนไดรติกเซลล์ (dendritic cells) ตลอดจนส่งเสริมการหลั่งไซโตไคน์อักเสบเรื้อรัง^{16,17} **ภาวะเซลล์เสื่อมวัยในโรคปริทันต์อักเสบ (Cellular Senescence in Periodontitis)**

ภาวะเซลล์เสื่อมวัย (cellular senescence) มีบทบาทสำคัญต่อพยาธิกำเนิดของโรคปริทันต์อักเสบ โดยเฉพาะในผู้สูงอายุ ซึ่งมักมีการตอบสนองต่อการอักเสบรุนแรง และควบคุมได้ยาก แม้มีระดับจุลชีพในช่องปากใกล้เคียงกับบุคคลทั่วไป ภาวะอักเสบจากความเสื่อมวัย ส่งผลให้เนื้อเยื่อปริทันต์มีความไวต่อการอักเสบเพิ่มขึ้น ความสามารถในการซ่อมแซมลดลง และเกิดการสูญเสียสมดุลของเนื้อเยื่อ¹⁴ สะท้อนถึงความเชื่อมโยงระหว่างความเสื่อมวัยทางชีวภาพกับพยาธิกำเนิดของโรคปริทันต์อักเสบ โดยเฉพาะในผู้ที่มีภาวะอักเสบเรื้อรัง หรือ โรคทางระบบร่วมด้วย^{1,16} เซลล์ที่เข้าสู่ภาวะเสื่อมวัยจะหยุดการแบ่งตัวอย่างถาวร แต่ยังคงมีการหลั่งกลุ่มสารพีโนไทป์ที่หลังจากเซลล์เสื่อมวัย ส่งผลให้เกิดวงจรการอักเสบเรื้อรัง การทำลายเนื้อเยื่อ และการสูญเสียกระดูกปริทันต์อย่างต่อเนื่อง รวมทั้งสามารถเหนี่ยวนำให้เซลล์ข้างเคียงเข้าสู่ภาวะเสื่อมวัยเพิ่มขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับแนวคิด “ALTER” ที่อธิบายผลกระทบของเซลล์เสื่อมวัยต่อเนื้อเยื่อ ได้แก่ A: Accumulate (การสะสมของเซลล์เสื่อมวัยในเนื้อเยื่อ) L: Limit regeneration (การจำกัดการซ่อมแซมเนื้อเยื่อ) T: Transmit senescence (การชักนำให้เซลล์ใกล้เคียงเข้าสู่ภาวะเสื่อมวัย) E: Exacerbate inflammation (การรุนแรงขึ้นของการอักเสบ) และ R: Remodel tissue (การเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเนื้อเยื่ออย่างถาวร) รวมทั้งแนวคิด “two-source inflammation” ที่ระบุว่าการอักเสบในโรคปริทันต์เกิดจากทั้งการกระตุ้นโดยจุลชีพในคราบชีวภาพ (bacteria-triggered inflammation) และการอักเสบจากเซลล์เสื่อมวัย (senescence-associated inflammation) ที่เสริมฤทธิ์กัน ทำให้การอักเสบดำรงอยู่อย่างต่อเนื่องแม้ควบคุมปัจจัยเชื้อก่อโรคได้แล้ว⁶ โดยเชื้อก่อโรคปริทันต์หลัก เช่น *Porphyromonas gingivalis*, *Tannerella forsythia*, *Treponema denticola* และ *Aggregatibacter actinomycetemcomitans* สามารถกระตุ้นการตอบสนองของระบบภูมิคุ้มกันของโฮสต์อย่างรุนแรง และยึดเยื่อ ส่งผลให้เกิดความเสียหายของเนื้อเยื่อ กระดูกปริทันต์อย่างต่อเนื่อง¹⁸ ขณะเดียวกัน ปัจจัยเสี่ยงของโรคปริทันต์ เช่น การติดเชื้อแบคทีเรีย การอักเสบเรื้อรัง การสูบบุหรี่ และโรคเบาหวาน สามารถเร่งให้เกิดภาวะเซลล์เสื่อมวัยก่อนเวลา ผ่านกลไกความเครียดออกซิเดชัน และการตอบสนองต่อความเสียหายของดีเอ็นเอ โดยเฉพาะเชื้อ *Porphyromonas gingivalis* ซึ่งหลังเอนไซม์โปรตีนเอสกลุ่มจินจิเพนส์ (gingipains) และ โลโปโพลีแซ็กคาไรด์

(lipopolysaccharide; LPS) ที่กระตุ้นตัวรับ TLR2/TLR4 ส่งผลให้เกิดการสร้างอนุมูลออกซิเจนชนิดไวต่อปฏิกิริยา การกระตุ้นวิถีสัญญาณ NF- κ B และการอักเสบระดับเซลล์อย่างต่อเนื่อง^{18, 19} รวมถึงความเสียหายของดีเอ็นเอ และความผิดปกติของไมโทคอนเดรีย กลไกดังกล่าวนำไปสู่การแสดงออกของโปรตีน p16 และ p21 การหยุดวงจรเซลล์ และการหลั่งกลุ่มสารพีโนไทป์ที่หลังจากเซลล์เสื่อมวัยอย่างต่อเนื่อง ซึ่งสะท้อนภาวะเซลล์เสื่อมวัยก่อนเวลา (accelerated cellular senescence) ในเนื้อเยื่อปริทันต์ นอกจากนี้ virulence factors ของเชื้อยังสามารถรบกวนกระบวนการออโตฟาจี (autophagy) และสมดุลการทำงานของไมโทคอนเดรีย ส่งผลให้เกิดการสะสมของเซลล์เสื่อมวัยในรอยโรคปริทันต์^{10,20,21}

การประเมินภาวะเซลล์เสื่อมวัยในเนื้อเยื่อปริทันต์อาศัยตัวบ่งชี้ทางชีวภาพหลายชนิด เนื่องจากเซลล์เสื่อมวัยมีความหลากหลาย (cellular heterogeneity) ทั้งในด้านชนิดของเซลล์ กลไกการเหนี่ยวนำ และบริบทของจุลสภาพแวดล้อมในเนื้อเยื่อ²² ส่งผลให้มีความแตกต่างกันทั้งในระดับการแสดงออกของยีน (transcriptional profile) การเผาผลาญพลังงาน (metabolic state) และรูปแบบการหลั่งสาร (secretory phenotype)^{8,23} ดังนั้น ปัจจุบันยังไม่มีตัวบ่งชี้ใดที่มีความจำเพาะ ต่อภาวะเซลล์เสื่อมวัยในทุกบริบททางชีวภาพ^{8,22-24} โปรตีน p16 และ p21 ซึ่งเกี่ยวข้องกับการหยุดวงจรเซลล์ เป็นตัวบ่งชี้ที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย อย่างไรก็ตาม โปรตีนทั้งสองชนิดสามารถพบได้ในสภาวะอื่น เช่น การอักเสบเรื้อรัง ภาวะหยุดการแบ่งตัวจากความเครียด (stress-induced growth arrest) หรือในเซลล์มะเร็งบางชนิด จึงไม่ถือเป็นตัวบ่งชี้ที่จำเพาะต่อเซลล์เสื่อมวัยเพียงอย่างเดียว^{8,22-24} ในทำนองเดียวกัน เอนไซม์เอสเอ-เบตา-กาแลกโตซิเดส แม้เป็นตัวบ่งชี้เชิงหน้าที่ที่ใช้อย่างแพร่หลาย สามารถตรวจพบได้ในเซลล์ที่มีการเพิ่มจำนวนของไลโซโซม หรืออยู่ในบริบทของความเครียดจากปฏิกิริยาออกซิเดชัน ขณะที่การสะสมของลิโปฟัสซินสะท้อนภาวะเสื่อมของเซลล์ แต่ไม่จำเพาะต่อกระบวนการเสื่อมวัย^{8,24} นอกจากนี้ กลุ่มสารพีโนไทป์ที่หลังจากเซลล์เสื่อมวัย แม้มีบทบาทสำคัญในพยาธิกำเนิดของโรคปริทันต์อักเสบ แต่สารหลายชนิดในกลุ่มนี้เป็นไซโตไคน์อักเสบที่พบได้ทั่วไปในกระบวนการอักเสบเรื้อรัง หรือ มะเร็ง จึงมีความจำเพาะต่ำ เช่นเดียวกัน^{3,8,10} ด้วยเหตุนี้ ปัจจุบันยังไม่มี ตัวบ่งชี้ทางชีวภาพใดที่ถือเป็นมาตรฐานอ้างอิงสูงสุด หรือ มีความจำเพาะต่อภาวะเซลล์เสื่อมวัยเพียงลำพัง การประเมินในทางคลินิก และการวิจัยจึงควรอาศัยการใช้ตัวบ่งชี้หลายชนิดร่วมกันในรูปแบบชุดตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (biomarker panel) หรือ ดัชนีรวมภาวะเซลล์เสื่อมวัย (composite senescence index) เพื่อเพิ่มความแม่นยำ และความน่าเชื่อถือในการระบุภาวะเซลล์เสื่อมวัย^{23,25}

โดยการศึกษาเชิงคลินิก ที่เก็บตัวอย่างเนื้อเยื่อเหงือกจากผู้ป่วยที่เป็น และไม่เป็นโรคปริทันต์อักเสบในแต่ละกลุ่มอายุพบว่า

ระดับโปรตีน p16 ลิโพฟัสซิน และเอนไซม์เอสเอ-เบตา-กาแลกโตซิเดส สูงขึ้นอย่างมีนัยสำคัญในเนื้อเยื่อเหิงอกของผู้ป่วยโรคปริทันต์อักเสบ ทั้งในกลุ่มอายุน้อย และผู้สูงอายุ แสดงให้เห็นว่า แม้ในคนอายุน้อย ที่มีสภาวะอักเสบเรื้อรังก็สามารถเหนี่ยวนำการเกิดภาวะเซลล์เสื่อมวัยได้ โดยเฉพาะในไฟโบรบลาสต์ (fibroblast) และมาโครฟาจในบริเวณรอยโรคซึ่งมีบทบาทในการกระตุ้น และคงสภาพการอักเสบผ่านการหลั่งกลุ่มสารพีโนไทป์ที่หลั่งจากเซลล์เสื่อมวัยอย่างต่อเนื่อง³ ภายในรอยโรคของโรคปริทันต์อักเสบ ยังพบว่าเซลล์ที่เข้าสู่ภาวะเสื่อมวัยหลัก ได้แก่ ไฟโบรบลาสต์ มาโครฟาจ เซลล์เอ็นอีทีปริทันต์ และออสทีโอคลาสต์ ซึ่งการหลั่งกลุ่มสารพีโนไทป์จากเซลล์เสื่อมวัยอย่างต่อเนื่อง นำไปสู่วงจรการอักเสบเรื้อรัง การทำลายเนื้อเยื่อ และรบกวนการซ่อมแซม และฟื้นฟูของเนื้อเยื่อปริทันต์ตามปกติ ซึ่งผลกระทบไม่ได้จำกัดอยู่เฉพาะบริเวณรอยโรคในช่องปากเท่านั้น แต่ยังสามารถแพร่เข้าสู่ระบบไหลเวียนโลหิต (systemic circulation) ก่อให้เกิดภาวะอักเสบเรื้อรังระดับต่ำ หรือภาวะอักเสบจากความเสื่อมวัย ซึ่งเป็นลักษณะเด่นของโรคเรื้อรังหลายชนิด รวมถึงโรคปริทันต์อักเสบด้วยเช่นกัน³

การรักษาภาวะเซลล์เสื่อมวัย (Senotherapeutics)

จากความเข้าใจที่เพิ่มขึ้นเกี่ยวกับบทบาทของภาวะเซลล์เสื่อมวัย และการหลั่งกลุ่มสารพีโนไทป์จากเซลล์เสื่อมวัย ซึ่งกระตุ้นการอักเสบเรื้อรัง และทำลายเนื้อเยื่อปริทันต์ แนวทางการรักษาจึงเริ่มมุ่งไปที่การควบคุม หรือ กำจัดเซลล์เสื่อมวัย รวมถึงลดผลกระทบของสารกลุ่มนี้ต่อเนื้อเยื่อโดยรอบ โดยแนวทางเหล่านี้สามารถจำแนกได้เป็น 3 กลุ่มหลัก ได้แก่ แนวทางทางเภสัชกรรม การแทรกแซงด้านพฤติกรรม และแนวทางประยุกต์ทางคลินิกในบริบทของโรคปริทันต์อักเสบ¹⁵ ในด้านเภสัชกรรม ได้มีการพัฒนา “ยาเป้าหมายเซลล์เสื่อมวัย” หรือ senotherapeutics ซึ่งแบ่งตามกลไกการออกฤทธิ์เป็น 2 กลุ่ม คือ ยากำจัดเซลล์เสื่อมวัย (senolytics) และยาควบคุมการหลั่งของสารจากเซลล์เสื่อมวัย (senomorphics) ทั้งสองกลุ่มมุ่งลดผลกระทบของเซลล์เสื่อมวัย และกลุ่มสารพีโนไทป์ที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการอักเสบ และการทำลายเนื้อเยื่อในโรคเรื้อรังหลายชนิด รวมถึงโรคปริทันต์อักเสบเช่นกัน

ยากำจัดเซลล์เสื่อมวัย คือ กลุ่มยาที่ออกฤทธิ์กำจัดเซลล์ที่เข้าสู่ภาวะเสื่อมวัยโดยตรง โดยไม่กระทบต่อเซลล์ปกติ โดยยับยั้งวิถีสัญญาณด้านการตายของเซลล์เสื่อมวัย (senescent cell anti-apoptotic pathways; SCAPs) เช่น BCL-2, PI3K/AKT และ HSP90 ส่งผลให้เซลล์เสื่อมวัยเข้าสู่กระบวนการตายของเซลล์แบบ programmed cell death (apoptosis) ตัวอย่างยาในกลุ่มนี้ เช่น ดาซาทีนิบ (dasatinib) และเคอร์ซีทิน (quercetin) โดยในการศึกษาในสัตว์ทดลองมักให้ดาซาทีนิบขนาดประมาณ 5 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ร่วมกับเคอร์ซีทิน 50 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทางปากแบบเป็นช่วง (intermittent dosing) เช่น สัปดาห์ละ 1–2 ครั้ง ขณะที่

การศึกษาทางคลินิกในมนุษย์บางรายงานใช้ดาซาทีนิบ 100 มิลลิกรัม ร่วมกับเคอร์ซีทิน 1,000 มิลลิกรัม ต่อวัน เป็นเวลา 2–3 วันต่อสัปดาห์ในช่วงสั้น ๆ การให้ยาในลักษณะเป็นช่วงช่วยลดผลข้างเคียงจากการใช้ระยะยาว และยังคงประสิทธิภาพในการกำจัดเซลล์เสื่อมวัย การใช้ ดาซาทีนิบและเคอร์ซีทิน สามารถลดจำนวนเซลล์เสื่อมวัยลดระดับกลุ่มสารพีโนไทป์จากเซลล์เสื่อมวัย และชะลอการเสื่อมของเนื้อเยื่อได้ในสัตว์ทดลอง รวมถึงแสดงศักยภาพทางคลินิกในโรคเรื้อรังบางชนิด เช่น โรคข้อเสื่อม²⁶ อย่างไรก็ตาม ประเด็นด้านความปลอดภัยของยากำจัดเซลล์เสื่อมวัยควรได้รับการพิจารณาอย่างรอบคอบ โดยเฉพาะในบริบทของโรคปริทันต์อักเสบ ซึ่งมีปัจจัยเสี่ยงร่วมกับมะเร็งช่องปาก เช่น การสูบบุหรี่ การอักเสบเรื้อรัง และความผิดปกติของระบบภูมิคุ้มกัน²⁷ แม้ว่ายากำจัดเซลล์เสื่อมวัยจะเกี่ยวข้องกัวิธีสัญญาณด้านการตายของเซลล์ แต่กลไกของยากำจัดเซลล์เสื่อมวัยมิใช่การยับยั้ง apoptosis หากเป็นการยับยั้ง วิถีสัญญาณด้านการตายของเซลล์เสื่อมวัย ซึ่งเป็นกลไกจำเพาะที่เซลล์เสื่อมวัยใช้เพื่อหลีกเลี่ยงการตายของเซลล์ ส่งผลให้เกิดการกำจัดเซลล์เสื่อมวัยอย่างเลือกจำเพาะ (selective clearance) มากกว่าการส่งเสริมการอยู่รอดของเซลล์ผิดปกติ²⁸ นอกจากนี้ เซลล์เสื่อมวัยเองสามารถส่งเสริมสภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเกิดมะเร็งผ่านการหลั่งกลุ่มสารพีโนไทป์จากเซลล์เสื่อมวัย ดังนั้น การกำจัดเซลล์เสื่อมวัยอาจมีศักยภาพในการลดภาวะอักเสบเรื้อรัง และจุลสภาพแวดล้อมที่ส่งเสริมมะเร็งได้ในเชิงทฤษฎี จนถึงปัจจุบัน ยังไม่มีรายงานทางคลินิกที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการใช้ดาซาทีนิบ ร่วมกับเคอร์ซีทิน กับการเพิ่มความเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งช่องปาก อย่างไรก็ตาม มีรายงานว่ายาดาซาทีนิบอาจก่อให้เกิดอาการไม่พึงประสงค์ทางระบบบางประการเมื่อใช้ต่อเนื่องเป็นเวลานานในบางบริบท²⁹ ขณะที่การศึกษาในแบบจำลองสัตว์ที่ใช้สูตรยาดาซาทีนิบ ร่วมกับเคอร์ซีทิน แบบให้ยาเป็นระยะ (intermittent administration) ไม่พบความผิดปกติทางพยาธิสภาพที่เพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุมภายหลังการให้ยา และการติดตามผลในระยะเวลานาน³⁰ ทั้งนี้ หลักฐานด้านความปลอดภัยของการใช้ยากำจัดเซลล์เสื่อมวัยในมนุษย์ยังมีจำกัด และจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมทั้งในด้านประสิทธิภาพและความปลอดภัยในระยะยาว โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่มีปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดมะเร็งหรือโรคระบบอื่น ๆ ก่อนที่จะสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางคลินิกได้อย่างแพร่หลาย

ในขณะที่ ยาควบคุมการหลั่งสารจากเซลล์เสื่อมวัย (senomorphics) ไม่ได้กำจัดเซลล์เสื่อมวัยโดยตรง แต่ทำหน้าที่ยับยั้งหรือ ควบคุมการหลั่งกลุ่มสารพีโนไทป์ที่หลั่งจากเซลล์เสื่อมวัยผ่านการยับยั้งวิถีสัญญาณ mTOR, NF- κ B หรือ JAK-STAT ตัวอย่าง เช่น ราพามัยซิน (rapamycin) ซึ่งในสัตว์ทดลองมักให้ขนาดประมาณ 1–4 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ทางปาก หรือ การฉีด เมทฟอร์มิน (metformin) มักให้ขนาด 200–300 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัมต่อวัน

ในสัตว์ทดลอง และยากลุ่มยับยั้ง JAK ซึ่งให้ตามขนาดมาตรฐานที่ใช้ในโรคอักเสบเรื้อรัง ยากลุ่มนี้ถือว่าปลอดภัยต่อเนื้อเยื่อที่มีโครงสร้างซับซ้อน เช่น บริเวณรอยโรคปริทันต์ และเหมาะต่อการใช้ระยะยาวมากกว่า การศึกษาในสัตว์ทดลองโดยใช้แบบจำลองการผูกไหมรอบฟันกรามเพื่อกระตุ้นโรคปริทันต์อักเสบ พบว่าการให้เคอร์ซีทินทางปากสามารถลดการอักเสบและการทำลายเนื้อเยื่อปริทันต์ได้³¹ ขณะที่การให้ราพามัยซิน หรือ การให้ดาซาทีนิบร่วมกับเคอร์ซีทิน สามารถลดจำนวนเซลล์เสื่อมวัย ระดับกลุ่มสารพีโนไทป์จากเซลล์เสื่อมวัย และการสูญเสียกระดูกเบ้าฟันในหนูที่มีภาวะสูงวัยได้^{32, 33} แม้ว่าแนวทางการรักษาด้วยยาทั้งสองกลุ่มยังอยู่ในระยะศึกษาสำหรับการประยุกต์ใช้โดยตรงในโรคปริทันต์อักเสบ แต่แนวคิดการใช้เป็นการรักษาเสริม (adjunctive therapy) ร่วมกับการรักษาปริทันต์บำบัด เช่น การขูดหินน้ำลายร่วมกับการเกลารากฟัน หรือ การทำศัลยกรรมปริทันต์ อาจเป็นทางเลือกใหม่ที่เหมาะสมสำหรับผู้ป่วยกลุ่มเสี่ยงเรื้อรัง เช่น ผู้สูงอายุ หรือ ผู้ที่มีระดับตัวบ่งชี้ภาวะเซลล์เสื่อมวัยสูง ซึ่งมักตอบสนองต่อการรักษาแบบเดิมได้น้อยกว่ากลุ่มอื่น²⁶ ในบริบทของโรคปริทันต์อักเสบ การพัฒนาระบบนำส่งยาเฉพาะที่ (local drug delivery systems) สำหรับสารกลุ่มยาเป้าหมายเซลล์เสื่อมวัย กำลังได้รับความสนใจอย่างมาก เนื่องจากสามารถเพิ่มความเข้มข้นของยาในบริเวณรอยโรค ลดผลข้างเคียงทางระบบ และควบคุมจลนศาสตร์การปลดปล่อยยาได้อย่างแม่นยำ เทคโนโลยีที่ได้รับการศึกษารอบคลุมระบบนำส่งระดับนาโน (nanoparticle-based systems) เช่น พอลิเมอร์นาโนพาร์ติเคิล ลิพิดนาโนพาร์ติเคิล และอนุภาคชีววัสดุ ซึ่งสามารถห่อหุ้มยา ป้องกันการสลายตัวก่อนเวลา และปลดปล่อยยาอย่างค่อยเป็นค่อยไปภายในร่องลึกปริทันต์³⁴ เทคโนโลยีเหล่านี้ยังรวมถึงเมทริกซ์ไฮโดรเจลชนิดฉีดได้ (injectable hydrogels) และวัสดุปลดปล่อยยาต่อเนื่อง (sustained-release systems) เช่น แผ่นฟิล์มพอลิเมอร์ เส้นใยนาโน และโครงร่างคอลลอยด์ ซึ่งสามารถกระจายยาในบริเวณรอยโรคได้นานหลายวันถึงหลายสัปดาห์³⁵ หลักฐานจากการศึกษาทดลองก่อนคลินิกที่รายงานในวรรณกรรมยังชี้ให้เห็นว่าระบบนำส่งยาเฉพาะที่ดังกล่าวสามารถลดการแสดงออกของไซโตไคน์อักเสบ ลดการสูญเสียกระดูกเบ้าฟัน และส่งเสริมการซ่อมแซมเนื้อเยื่อได้อย่างมีนัยสำคัญ³⁶ แม้ว่าการประยุกต์ใช้ระบบเหล่านี้กับยาเป้าหมายเซลล์เสื่อมวัยโดยตรง เช่น ยากลุ่มกำจัดเซลล์เสื่อมวัย หรือ ยาควบคุมการหลั่งสารจากเซลล์เสื่อมวัย ยังอยู่ในระยะเริ่มต้น แต่แนวคิดการนำส่งยาแบบมุ่งเป้า (targeted delivery) เพื่อควบคุมการสะสมของเซลล์เสื่อมวัย และลดการหลั่งกลุ่มสารพีโนไทป์จากเซลล์เสื่อมวัย มีศักยภาพในการยกระดับการรักษาปริทันต์แบบผสมผสาน เพิ่มความจำเพาะของการรักษา และลดผลกระทบทางระบบในระยะยาว อันเป็นรากฐานสำคัญของการพัฒนาแนวคิด senescence-targeted periodontal therapeutics ในอนาคต³⁷ นอกจากการรักษาด้วยยา

การแทรกแซงทางพฤติกรรมเป็นอีกแนวทางที่ช่วยชะลอ หรือ ควบคุมภาวะเซลล์เสื่อมวัย โดยเฉพาะในผู้ที่ยังไม่แสดงอาการของโรค การออกกำลังกายสม่ำเสมอ การจำกัดพลังงาน (caloric restriction) และการจำกัดช่วงเวลารับประทานอาหาร (intermittent fasting) สามารถลดภาวะเครียดออกซิเดชัน ลดระดับอินซูลินไลค์โกรทแฟกเตอร์-1 (insulin-like growth factor-1; IGF-1) ยับยั้งวิถีสัญญาณ mTOR และกระตุ้นกระบวนการออโตฟาจี ส่งผลลดการสะสมเซลล์เสื่อมวัย และการหลั่งสารกระตุ้นการอักเสบ งานวิจัยในสัตว์ทดลองสนับสนุนแนวทางนี้ แม้ยังไม่มีข้อมูลตรงในโรคปริทันต์อักเสบ³⁷

การวินิจฉัย การประเมินความเสี่ยง และการติดตามภาวะเซลล์เสื่อมวัย (Gerodiagnostics and Risk Assessment)

แนวโน้มในอนาคตของการจัดการโรคปริทันต์อักเสบอาจรวมถึงการใช้ตัวบ่งชี้ภาวะเซลล์เสื่อมวัยร่วมกับข้อมูลทางคลินิกเพื่อจำแนกผู้ป่วยที่เหมาะสมกับการรักษาเสริม เช่น การใช้ยาเป้าหมายเซลล์เสื่อมวัยในรูปแบบเฉพาะที่ได้แก่ เจล หรือการฉีดเฉพาะจุดในบริเวณรอยโรค ซึ่งอาจช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการควบคุมโรค และลดความเสี่ยงของการลุกลามในระยะยาว²⁵ ความก้าวหน้าในชีวเวชศาสตร์ได้นำเสนอแนวคิด “เจอโรไดแอกนอสติกส์” (gerodiagnostics) ซึ่งมุ่งประเมินความเสี่ยงทางชีวภาพของร่างกายโดยอาศัยชุดตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ ที่สะท้อนระดับของภาวะเซลล์เสื่อมวัย มากกว่าอายุปฏิทิน ตัวบ่งชี้เหล่านี้สามารถตรวจวัดได้ทั้งในเนื้อเยื่อปริทันต์ ของเหลวในร่องเหงือก น้ำลาย หรือ เลือด และนำไปสู่การพัฒนาดัชนีรวมภาวะเซลล์เสื่อมวัยเพื่อใช้ในการคัดกรอง ติดตาม และกำหนดแนวทางการรักษาเฉพาะบุคคล (personalized periodontics) โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่มีภาวะอักเสบทางระบบ หรือ ความเสื่อมแฝง²⁵ ในด้านการติดตาม และประเมินผลการรักษา การใช้ตัวบ่งชี้เพียงชนิดเดียว (single biomarker) เช่น p16 หรือ เอนไซม์เอสเอ-เบตา-กาแลกโตซิเดส แม้มีความสะดวก และต้นทุนต่ำ แต่มีข้อจำกัดด้านความจำเพาะ และความไว เนื่องจากตัวบ่งชี้เหล่านี้สามารถพบได้ในสภาวะอื่น เช่น การอักเสบเรื้อรัง หรือ ความเครียดของเซลล์ ส่งผลให้ความแม่นยำในการจำแนกระดับความเสี่ยง หรือ การติดตามผลการรักษาอาจไม่เพียงพอ²³ ในทางตรงกันข้าม การใช้ตัวบ่งชี้หลายชนิดร่วมกันในรูปแบบชุดตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ หรือ ดัชนีรวมภาวะเซลล์เสื่อมวัย มีแนวโน้มเพิ่มความแม่นยำในการประเมินภาวะเสื่อมวัย และความเสี่ยงของโรค เนื่องจากสามารถสะท้อนมิติที่หลากหลายของกระบวนการเสื่อมวัย ทั้งด้านการหยุดวงจรเซลล์ การเปลี่ยนแปลงเมตาบอลิซึม และการหลั่งสารก่อการอักเสบ การประเมินแบบหลายตัวจึงมีศักยภาพสูงกว่าในการใช้ติดตามการตอบสนองต่อการรักษา และทำนายความเสี่ยงของการลุกลามของโรค อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันยังไม่มีเกณฑ์มาตรฐานสำหรับการกำหนดชุดตัวบ่งชี้ที่เหมาะสม การกำหนดค่าตัดแบ่ง

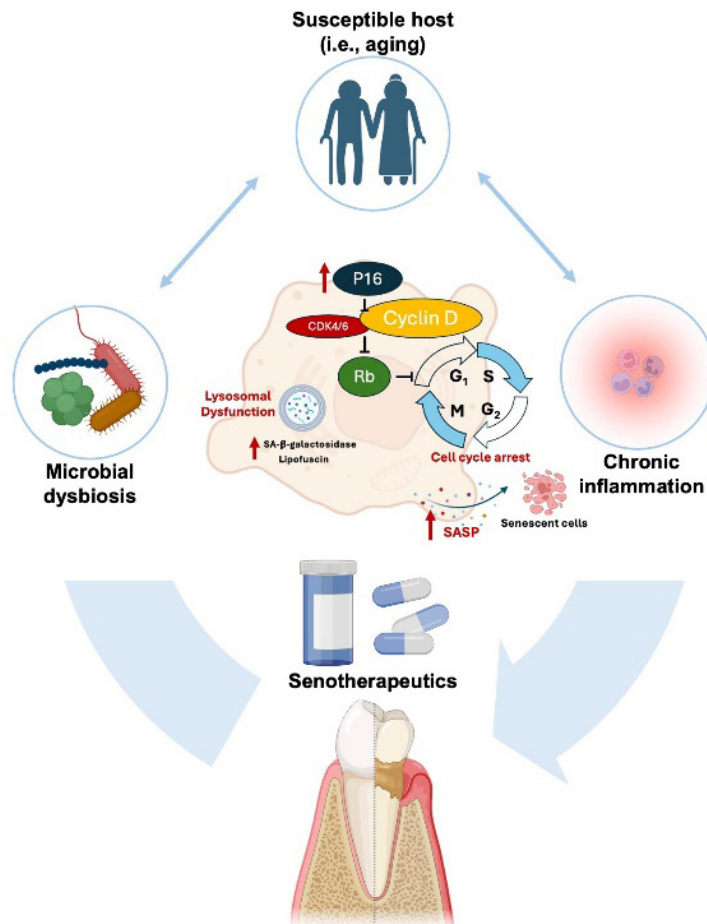
(cut-off values) หรือ การตรวจสอบความถูกต้องในประชากรกลุ่มต่าง ๆ อีกทั้งยังขาดหลักฐานทางคลินิกเกี่ยวกับความไว ความจำเพาะ และความสามารถในการทำนายผลลัพธ์ทางคลินิก จำเป็นต้องมีการศึกษาระยะยาวเพื่อพัฒนาแบบจำลองที่ผ่านการตรวจสอบความถูกต้อง และประเมินความคุ้มค่าในการนำไปใช้จริงในคลินิก²⁵

บทสรุป

ภาวะเซลล์เสื่อมวัยเป็นกลไกสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการอักเสบเรื้อรัง การทำลายเนื้อเยื่อ และการส่งต่อความเสียหายสู่เซลล์ข้างเคียง ซึ่งมีบทบาทชัดเจนในพยาธิกำเนิดของโรคปริทันต์อักเสบ โดยไม่ได้จำกัดเฉพาะในผู้สูงอายุ แต่สามารถเกิดก่อนวัยจากปัจจัยเสี่ยง เช่น การติดเชื้อแบคทีเรีย การสูบบุหรี่ และโรคเบาหวาน หลักฐานเชิงคลินิกสนับสนุนการสะสมของเซลล์เสื่อมวัยในเนื้อเยื่อปริทันต์อักเสบ โดยตรวจพบการแสดงออกของตัวบ่งชี้สำคัญ เช่น โปรตีน p16 เอนไซม์เอสเอ-เบตา-กาแลกโตซิเดส และไซโตไคน์กลุ่มสารพีโนไทป์ที่หลังจากเซลล์เสื่อมวัย ซึ่งสะท้อนการมีส่วนร่วมของภาวะเซลล์เสื่อมวัยในการลุกลามของโรค แนวทางรักษาใหม่จึงมุ่งควบคุม หรือ ลดผลกระทบจากเซลล์เสื่อมวัย ทั้งด้วยยากลุ่มเฉพาะทาง การแทรกแซงด้านพฤติกรรม และการประเมินตัวบ่งชี้ชีวภาพเพื่อติดตามโรค หรือ วางแผน

การรักษาแบบเฉพาะบุคคล โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่ตอบสนองต่อการรักษาแบบมาตรฐานได้ไม่ดี อย่างไรก็ตาม ยังจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อยืนยันประสิทธิภาพ และความปลอดภัยของแนวทางเหล่านี้ ในทางคลินิก รวมถึงการประยุกต์ใช้เฉพาะที่ร่วมกับการรักษาปริทันต์มาตรฐานเพื่อยกระดับประสิทธิภาพในการควบคุมโรคในระยะยาว

การสูงอายุเพิ่มความไวต่อโรคของร่างกาย ประกอบกับภาวะเสื่อมสมรรถภาพของจุลชีพ และการอักเสบเรื้อรังมากขึ้น ภายในเนื้อเยื่อปริทันต์ ส่งผลให้ระดับการแสดงออกของ p16 ที่เพิ่มขึ้นจะยับยั้งการทำงานของ CDK4/6–Cyclin D ส่งผลให้เกิดการหยุดวงจรเซลล์แบบพึ่งพาโปรตีน Rb เซลล์ที่อยู่ในภาวะเสื่อมวัยมักพบความผิดปกติของไลโซโซม ซึ่งแสดงให้เห็นโดยเอนไซม์เอสเอ-เบตา-กาแลกโตซิเดสที่เพิ่มขึ้น และการสะสมของลิโปฟัสซิน รวมถึงการหลั่งปัจจัยอักเสบในกลุ่มสารพีโนไทป์ที่หลังจากเซลล์เสื่อมวัย การเปลี่ยนแปลงเหล่านี้ส่งผลให้เกิดความเสียหายของเนื้อเยื่อ บั่นทอนการทำงานของเซลล์ และลดศักยภาพการซ่อมแซม ส่งผลต่อการเกิด และความรุนแรงที่เพิ่มขึ้นของโรคปริทันต์ กลยุทธ์ด้านเซนותרาปี (senotherapeutics) ที่มุ่งกำจัด หรือ ปรับสภาพเซลล์เสื่อมสภาพอาจเป็นแนวทางการรักษาที่มีศักยภาพในการตัดวงจรพยาธิกำเนิด และฟื้นฟูสุขภาพปริทันต์ได้



รูปที่ 1 รูปภาพเชิงแนวคิดที่แสดงบทบาทของภาวะการเสื่อมวัยของเซลล์ในโรคปริทันต์
Figure 1 Conceptual illustration of the role of cellular senescence in periodontitis

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ ภาควิชาปริทันตวิทยา คณะทันต-
แพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทางวิชาการ
และทรัพยากรที่จำเป็นในการดำเนินการทบทวนวรรณกรรมฉบับนี้ ทั้งนี้
บทความนี้มิได้ใช้ทุนสนับสนุนจากแหล่งทุนใดเป็นพิเศษ และไม่ได้รับ
อิทธิพลจากองค์กรภายนอกในการวิเคราะห์ หรือ เขียนบทความ
ผลประโยชน์ทับซ้อน

ผู้เขียนขอรับรองว่า ไม่มีผลประโยชน์ทับซ้อน ที่อาจมี
อิทธิพลต่อการวิเคราะห์ หรือ การนำเสนอเนื้อหาในบทความฉบับนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Baima G, Romandini M, Citterio F, Romano F, Aimetti M. Periodontitis and Accelerated Biological Aging: A Geroscience Approach. *J Dent Res* 2022;101(2):125-32.
2. Aquino-Martinez R, Khosla S, Farr JN, Monroe DG. Periodontal Disease and Senescent Cells: New Players for an Old Oral Health Problem? *Int J Mol Sci* 2020;21(20):7441.
3. Rattanaprukskul K, Xia XJ, Jiang M, Albuquerque-Souza E, Bandyopadhyay D, Sahingur SE. Molecular Signatures of Senescence in Periodontitis: Clinical Insights. *J Dent Res* 2024;103(8):800-8.
4. Kumari R, Jat P. Mechanisms of Cellular Senescence: Cell Cycle Arrest and Senescence Associated Secretory Phenotype. *Front Cell Dev Biol* 2021;9:645593.
5. Chinta SJ, Lieu CA, Demaria M, Laberge RM, Campisi J, Andersen JK. Environmental stress, ageing and glial cell senescence: a novel mechanistic link to Parkinson's disease? *J Intern Med* 2013;273(5):429-36.
6. Aquino-Martinez R. The Emerging Role of Accelerated Cellular Senescence in Periodontitis. *J Dent Res* 2023;102(8):854-62.
7. Hayflick L, Moorhead PS. The serial cultivation of human diploid cell strains. *Exp Cell Res* 1961;25:585-621.
8. Hernandez-Segura A, Nehme J, Demaria M. Hallmarks of Cellular Senescence. *Trends Cell Biol* 2018;28(6):436-53.
9. Campisi J, d'Adda di Fagagna F. Cellular senescence: when bad things happen to good cells. *Nat Rev Mol Cell Biol* 2007;8(9):729-40.
10. Coppé JP, Desprez PY, Krtolica A, Campisi J. The senescence-associated secretory phenotype: the dark side of tumor suppression. *Annu Rev Pathol* 2010;5:99-118.
11. Li GH, Li YH, Yu Q, Zhou QQ, Zhang RF, Weng CJ, et al. Unraveling the metabolic heterogeneity and commonality in senescent cells using systems modeling. *Life Med* 2025;4(2):lnaf003.
12. Miwa S, Kashyap S, Chini E, von Zglinicki T. Mitochondrial dysfunction in cell senescence and aging. *J Clin Invest* 2022;132(13):e185447.
13. López-Otin C, Blasco MA, Partridge L, Serrano M, Kroemer G. The hallmarks of aging. *Cell* 2013;153(6):1194-217.
14. Clark D, Radaic A, Kapila Y. Cellular Mechanisms of Inflammaging and Periodontal Disease. *Front Dent Med* 2022;3.
15. Chaib S, Tchkonja T, Kirkland JL. Cellular senescence and senolytics: the path to the clinic. *Nat Med* 2022;28(8):1556-68.
16. Birch J, Gil J. Senescence and the SASP: many therapeutic avenues. *Genes Dev* 2020;34(23-24):1565-76.
17. Fulop T, Larbi A, Dupuis G, Le Page A, Frost EH, Cohen AA, et al. Immunosenescence and Inflamm-Aging As Two Sides of the Same Coin: Friends or Foes? *Front Immunol* 2017;8:1960.
18. Hajishengallis G, Lamont RJ. Beyond the red complex and into more complexity: the polymicrobial synergy and dysbiosis (PSD) model of periodontal disease etiology. *Mol Oral Microbiol* 2012;27(6):409-19.
19. Hajishengallis G. Immunomicrobial pathogenesis of periodontitis: keystones, pathobionts, and host response. *Trends Immunol* 2014;35(1):3-11.
20. Kang C, Elledge SJ. How autophagy both activates and inhibits cellular senescence. *Autophagy* 2016;12(5):898-9.
21. Bullon P, Newman HN, Battino M. Obesity, diabetes mellitus, atherosclerosis and chronic periodontitis: a shared pathology via oxidative stress and mitochondrial dysfunction? *Periodontol 2000* 2014;64(1):139-53.
22. Gil J. The challenge of identifying senescent cells. *Nat Cell Biol* 2023;25(11):1554-6.
23. Gorgoulis V, Adams PD, Alimonti A, Bennett DC, Bischof O, Bishop C, et al. Cellular Senescence: Defining a Path Forward. *Cell* 2019;179(4):813-27.
24. Ogrodnik M, Carlos Acosta J, Adams PD, d'Adda di Fagagna F, Baker DJ, Bishop CL, et al. Guidelines for minimal information on cellular senescence experimentation *in vivo*. *Cell* 2024;187(16):4150-75.
25. Moqri M, Herzog C, Poganik JR, Justice J, Belsky DW, Higgins-Chen A, et al. Biomarkers of aging for the identification and evaluation of longevity interventions. *Cell* 2023;186(18):3758-75.
26. Kirkland JL, Tchkonja T, Zhu Y, Niedernhofer LJ, Robbins PD. The Clinical Potential of Senolytic Drugs. *J Am Geriatr Soc* 2017;65(10):2297-301.
27. Mantovani A, Allavena P, Sica A, Balkwill F. Cancer-related inflammation. *Nature* 2008;454(7203):436-44.
28. Zhu Y, Tchkonja T, Pirtskhalava T, Gower AC, Ding H, Giorgadze N, et al. The Achilles' heel of senescent cells: from transcriptome to senolytic drugs. *Aging Cell* 2015;14(4):644-58.
29. Justice JN, Nambiar AM, Tchkonja T, LeBrasseur NK, Pascual R, Hashmi SK, et al. Senolytics in idiopathic pulmonary fibrosis: Results from a first-in-human, open-label, pilot study. *EBioMedicine* 2019;40:554-63.
30. Xu M, Pirtskhalava T, Farr JN, Weigand BM, Palmer AK, Weivoda MM, et al. Senolytics improve physical function and increase lifespan in old age. *Nat Med* 2018;24(8):1246-56.
31. Mooney EC, Holden SE, Xia XJ, Li Y, Jiang M, Banson CN, et al. Quercetin Preserves Oral Cavity Health by Mitigating Inflammation and Microbial Dysbiosis. *Front Immunol* 2021;12:774273.

32. An JY, Kerns KA, Ouellette A, Robinson L, Morris HD, Kaczorowski C, *et al.* Rapamycin rejuvenates oral health in aging mice. *Elife* 2020;9:e54318.
33. Rattanaprukskul K, Xia XJ, Hysa M, Jiang M, Hung M, Suslavich SF, *et al.* Dasatinib and Quercetin Limit Gingival Senescence, Inflammation, and Bone Loss. *J Dent Res* 2025;104(4):419-27.
34. Wang D, Li Q, Xiao C, Wang H, Dong S. Nanoparticles in Periodontitis Therapy: A Review of the Current Situation. *Int J Nanomedicine* 2024;19:6857-93.
35. H RR, Dhamecha D, Jagwani S, Rao M, Jadhav K, Shaikh S, *et al.* Local drug delivery systems in the management of periodontitis: A scientific review. *J Control Release* 2019;307:393-409.
36. Liu L, Wu D, Tu H, Cao M, Li M, Peng L, *et al.* Applications of Hydrogels in Drug Delivery for Oral and Maxillofacial Diseases. *Gels* 2023;9(2):146.
37. Kirkland JL, Tchkonja T. Senolytic drugs: from discovery to translation. *Journal of Internal Medicine* 2020;288(5):518-36.

แนวปฏิบัติที่ดีที่สุดในการกำจัดการปนเปื้อนของระบบน้ำในยูนิตทันตกรรม

Best Practices in Dental Unit Waterlines Decontamination

รัชณี อัมพรอร่ามเวทย์¹

Ruchanee Ampornaramveth¹

¹ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

¹Department of Microbiology, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

บทคัดย่อ

การดูแลระบบน้ำในยูนิตทันตกรรมเป็นความท้าทายสำคัญด้านการควบคุมการติดเชื้อทางทันตกรรม เนื่องจากภายในยูนิตทำฟันซึ่งเป็นอุปกรณ์หลักในการให้การรักษาทางทันตกรรมมีท่อส่งน้ำขนาดเล็กซึ่งมีน้ำหล่ออยู่ตลอดเวลาส่งเสริมให้เกิดไบโอฟิล์มก่อตัวอย่างรวดเร็วภายในท่อ หากไม่ได้รับการดูแล น้ำที่ออกมาจากระบบน้ำดีของยูนิตทำฟันมักไม่ผ่านเกณฑ์คุณภาพน้ำที่กำหนดไว้ คือค่าการปนเปื้อนของแบคทีเรียไม่เกิน 500 โคโลนีฟอร์มมิงยูนิตต่อมิลลิลิตร (CFU/mL) การปนเปื้อนนี้อาจส่งผลให้เพิ่มความเสี่ยงของทันตบุคลากรและผู้ป่วยต่อการสัมผัสเชื้อก่อโรคฉวยโอกาส เช่น ลิจิโอเนลลา (Legionella) ซึ่งไบโอฟิล์มที่ก่อตัวขึ้นนี้มีความทนทานและยากต่อการกำจัดจากโครงสร้างเมทริกซ์ของสารโพลีเมอร์ภายนอกเซลล์ ซึ่งป้องกันการแทรกซึมของสารฆ่าเชื้อ ทำให้การใช้สารเคมีความเข้มข้นต่ำอย่างต่อเนื่องเพียงอย่างเดียวอาจไม่สามารถกำจัดการเจริญเติบโตได้อย่างมีประสิทธิภาพ การกำจัดการปนเปื้อนที่เหมาะสมที่สุดจึงต้องอาศัยแนวทางแบบผสมผสานสองระบบ ได้แก่ การล้างท่อเป็นระยะ (Shock Treatment) ซึ่งเป็นการใช้สารฆ่าเชื้อความเข้มข้นสูงล้างท่อส่งน้ำดีเป็นระยะเพื่อกำจัดหรือลดไบโอฟิล์ม ตัวอย่างสารเคมีที่นิยมใช้ได้แก่ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ ความเข้มข้นร้อยละ 1-3 คลอรีน ไดออกไซด์ความเข้มข้นไม่เกิน 20 มิลลิกรัมต่อลิตร และการเติมยูนิตด้วยน้ำที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบบต่อเนื่อง (Continuous Treatment) คือการจัดให้มีสารฆ่าเชื้อความเข้มข้นต่ำในระบบน้ำอย่างต่อเนื่อง เช่น ระบบพลาสมา โอโซน ระบบปล่อยไอโอดีน หรือกรดไฮโปคลอรัส เพื่อป้องกันการเกิดไบโอฟิล์มใหม่ แนวปฏิบัติที่ดีที่สุดแนะนำให้ ทำการล้างท่อทุก 3 เดือน โดยสลับชนิดของสารเคมี เป็นประจำ เพื่อลดความต้านทานของจุลชีพต่อสารฆ่าเชื้อ ร่วมกับการเติมยูนิตด้วยน้ำที่มีฤทธิ์ฆ่าเชื้อแบบต่อเนื่อง ตรวจสอบคุณภาพน้ำในห้องปฏิบัติการอย่างน้อยทุกไตรมาส เพื่อยืนยันการปฏิบัติตามมาตรฐาน นอกจากนี้ ในการทำหัตถการผ่าตัดทั้งหมด ต้องไม่ใช้น้ำจากระบบน้ำของยูนิตโดยตรง แต่ให้ใช้น้ำเกลือปราศจากเชื้อแทน การดำเนินการทั้งหมดจะประสบความสำเร็จได้ก็ต่อเมื่อมีการปฏิบัติตามขั้นตอนอย่างเคร่งครัดโดยบุคลากร และหากเป็นไปได้การใช้ระบบอัตโนมัติจะช่วยลดความผิดพลาดจากมนุษย์ได้

คำสำคัญ: การปนเปื้อน, การควบคุมการติดเชื้อ, ไบโอฟิล์ม, ระบบน้ำของยูนิตทันตกรรม

Abstract

The maintenance of Dental Unit Waterlines (DUWLs) represents a major challenge in dental infection control. Within the dental unit, the primary equipment used in dental treatment, the narrow-bore waterlines that remain continuously filled with water, provide an ideal environment for rapid biofilm formation inside the tubing. If not properly maintained, the output water from the dental unit frequently fails to meet the recommended water quality standard, which requires bacterial contamination to be ≤ 500 Colony Forming Units per milliliter (CFU/mL). Such contamination increases the risk of exposure to opportunistic pathogens, such as Legionella, for both dental personnel and patients. The formed biofilm exhibits remarkable resistance due to the extracellular polymeric substance (EPS) matrix that shields microorganisms and prevents effective penetration of disinfectants. Consequently, continuous low-concentration chemical treatment alone cannot efficiently eliminate established microbial growth. Effective

decontamination, therefore, requires a combined dual-protocol approach: Periodic Shock Treatment, application of high-concentration disinfectants to flush and decontaminate waterlines at regular intervals, aiming to remove or reduce biofilm. Commonly used agents include 1-3% hydrogen peroxide or chlorine dioxide (ClO₂) at concentrations not exceeding 20 mg/L. Continuous Treatment, continuous introduction of low-level disinfectants into the water system, such as plasma, ozone systems, iodine, or hypochlorous acid release systems, to prevent new biofilm formation. Best practices recommend performing shock treatment every three months, regularly rotating chemical agents to minimize microbial resistance, together with continuous treatment protocol and conducting quarterly laboratory testing to verify water quality compliance. Moreover, during all surgical procedures, water from the dental unit waterlines must not be used directly; instead, sterile saline should be utilized. Ultimately, successful maintenance depends on strict staff adherence to the protocols, and whenever possible, the use of automated dosing or control systems to minimize human error.

Keyword: Contamination, Infection control, Biofilms, Dental Unit waterline

Received date: Dec 19, 2025

Revised date: Mar 13, 2026

Accepted date: Mar 23, 2026

Doi: 10.14456/jdat.2026.15

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

รัชณี อัมพรอร่ามเวทย์ ภาควิชาจุลชีววิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย 34 ถนนอังรีดูนังต์ แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร 10330 ประเทศไทย โทรศัพท์: 02-2188680 อีเมล: ruchanee.a@chula.ac.th

Correspondence to:

Ruchanee Ampornaramveth, Department of Microbiology, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, 34 Henri-Dunant Road, Wangmai, Patumwan, Bangkok, 10330, Thailand. Tel: 02-2188680 Email: ruchanee.a@chula.ac.th

บทนำ

1. สาเหตุของการปนเปื้อนในระบบน้ำของยูนิตทันตกรรม (DUWL): กลไกการเกิดไบโอฟิล์มและความเสี่ยงต่อสาธารณสุข

1.1 กลไกการเกิดไบโอฟิล์มในระบบน้ำของยูนิตทันตกรรม

ระบบน้ำของยูนิตทันตกรรม (Dental Unit Waterlines: DUWLs) มีความเสี่ยงสูงต่อการเกิดการปนเปื้อน เนื่องจากมีปัจจัยทางกายภาพและสิ่งแวดล้อมหลายประการที่เอื้อต่อการเกิดไบโอฟาวลิง (biofouling)¹ อาทิเช่นภายในท่อส่งน้ำของยูนิตมีลักษณะทางโครงสร้างที่เหมาะสมต่อการเจริญของจุลชีพ ได้แก่ ท่อขนาดเล็ก ความยาวของท่อที่มาก อัตราการไหลของน้ำต่ำ พื้นที่ผิวต่อปริมาตรสูง และมีช่วงเวลาที่น้ำค้างนิ่งภายในระบบบ่อยครั้ง ปัจจัยเหล่านี้ล้วนส่งเสริมให้เกิดการเพิ่มจำนวนของจุลชีพอย่างรวดเร็ว¹ (รูปที่ 1)

การเกิดไบโอฟิล์มภายใน DUWLs เกิดขึ้นตามวงจรชีวิตที่เป็นระบบ 5 ขั้นตอน² กระบวนการเริ่มจากแบคทีเรียในสภาพล่องลอย (planktonic bacteria) ยึดเกาะกับพื้นผิวด้านในของท่อ จากนั้นจุลชีพจะเพิ่มจำนวนและหลั่งสารเมือกที่ก่อตัวจากเมทริกซ์นอกเซลล์ (extracellular matrix) จนเกิดเป็นกลุ่มจุลชีพขนาดเล็ก (microcolonies) ต่อมาเมื่อไบโอฟิล์มเจริญเต็มที่ กลุ่มจุลชีพเหล่านี้จะพัฒนาเป็นโครงสร้างซับซ้อนคล้ายเห็ด และในระยะสุดท้าย

แบคทีเรียบางส่วนจะแยกตัวออกจากเมทริกซ์แล้วแพร่กระจายออกไปในรูปแบบจุลชีพล่องลอย เพื่อเริ่มการเกาะตัวและสร้างอาณานิคมใหม่ ในส่วนอื่นของระบบน้ำ กระบวนการนี้อธิบายได้ว่าทำไมการพ่นไล่สายน้ำหรือการทำให้น้ำไหลผ่านท่อเพียงอย่างเดียวจึงไม่สามารถกำจัดการปนเปื้อนที่ฝังแน่นของไบโอฟิล์มได้อย่างมีประสิทธิภาพ⁴ นอกจากนี้ปัจจัยด้านสิ่งแวดล้อมของแหล่งน้ำที่ใช้เดิมนั้นยังมีผลต่อการเริ่มและอัตราในการก่อตัวของไบโอฟิล์ม งานวิจัยหลายฉบับระบุว่า แร่ธาตุที่ละลายอยู่ในน้ำ โดยเฉพาะแคลเซียมและแมกนีเซียม (หรือที่เรียกว่าความกระด้างของน้ำ) มีส่วนสำคัญต่อการสะสมของตะกอนภายในท่อของ DUWL ตะกอนเหล่านี้เพิ่มพื้นที่ผิวภายในท่อและเป็นพื้นผิวที่เหมาะสมอย่างยิ่งต่อการยึดเกาะเริ่มต้นของแบคทีเรียและการก่อตัวของไบโอฟิล์ม³

เมื่อไบโอฟิล์มเจริญเต็มที่ โครงสร้างเมทริกซ์พอลิแซ็กคาไรด์ (polysaccharide matrix; glycocalyx) ที่ชุมชนจุลชีพหลั่งออกมา นอกเซลล์จะทำหน้าที่ห่อหุ้มและป้องกันเชื้อภายใน ทำให้จุลชีพในไบโอฟิล์มมีความทนทานต่อสารฆ่าเชื้อและยาปฏิชีวนะสูงกว่าจุลชีพล่องลอยทั่วไปถึง 500 เท่า¹ เนื่องจากสภาพแวดล้อมของจุลชีพในระบบน้ำถูกกำหนดทั้งจากปฏิกิริยาเคมีอนินทรีย์ (เช่น

การเกิดตะกรันแร่ธาตุ) และกิจกรรมทางชีวภาพ การกำจัดการปนเปื้อนอย่างมีประสิทธิภาพจึงต้องอาศัยสารเคมีที่สามารถแทรกซึมหรือสลายได้ทั้งเมทริกซ์ชีวภาพและตะกรันแร่ธาตุ หากพึ่งพาเพียง

สารฆ่าเชื้อมาตรฐานที่ทำลายเฉพาะจุลชีพบนผิวเท่านั้น จะทำให้จุลชีพที่อยู่ในชั้นลึกยังคงอยู่รอด และสามารถก่อให้เกิดการปนเปื้อนซ้ำอย่างรวดเร็วหลังการบำบัด



ภาพประกอบ โดยนพ.สิรภัทร วาณิชย์เสถียร, 19 ธ.ค. 2568

รูปที่ 1 การปนเปื้อนของเชื้อในระบบน้ำดื่มของยูนิตทันตกรรมนั้นมีส่วนมาจากการก่อตัวของไบโอฟิล์มในท่อส่งน้ำดื่มของยูนิต หากไบโอฟิล์มก่อตัวภายในท่อแล้วจะเป็นแหล่งสะสมและปล่อยเชื้อออกมากับน้ำ ไม่ว่าจะเติมยูนิตด้วยน้ำสะอาดหรือน้ำปราศจากเชื้อก็ยังสามารถตรวจพบการปนเปื้อนของเชื้อจากน้ำที่ปลายสายได้หากไม่มีมาตรการควบคุมหรือกำจัดไบโอฟิล์มที่ตีพอ

Figure 1 The contamination of microorganisms in the water delivery system of dental units is caused by the formation of biofilm within the unit's waterlines. Once a biofilm forms inside the tubing, it acts as a reservoir, harboring and continuously releasing microorganisms into the water. Therefore, even if the unit is supplied with clean or sterile water, microbial contamination can still be detected at the water outlet unless effective measures are in place to control or eliminate biofilm.

1.2 ความเสี่ยงและผลกระทบทางคลินิกจากการปนเปื้อนของระบบน้ำในยูนิตทันตกรรม

การปนเปื้อนของจุลชีพภายในระบบน้ำของยูนิตทันตกรรมที่ไม่ได้รับการดูแลอย่างเหมาะสม ถือเป็นอันตรายต่อสุขภาพอย่างมีนัยสำคัญ ยูนิตที่ไม่ได้รับการบำรุงรักษามักมีการปนเปื้อนของเชื้อและไม่สามารถส่งน้ำที่มีคุณภาพถึงมาตรฐานน้ำดื่มเพื่อใช้ในการรักษาทางทันตกรรมได้ พบว่าภายในระบบเหล่านี้มีปริมาณแบคทีเรียในน้ำทั่วไปจำนวนมาก รวมถึงเชื้อก่อโรคฉวยโอกาสหลายชนิด เช่น ลิจิโอเนลลา (*Legionella spp.*), สิวโตโมนาส แอรูจिनอซา (*Pseudomonas aeruginosa*) และ เชื้อกลุ่มไมโคแบคทีเรีย (*Mycobacteria*) ที่ไม่ใช่วัณโรค (Nontuberculous *Mycobacteria*: NTM)¹

มีการยืนยันแล้วว่าน้ำจากยูนิตที่ปนเปื้อนสามารถก่อให้เกิดการติดเชื้อที่รุนแรง และในบางกรณีอาจเป็นอันตรายถึงชีวิต

โดยเฉพาะในผู้ป่วยสูงอายุหรือผู้ที่มีภูมิคุ้มกันบกพร่อง¹ มีรายงานการระบาดที่ชัดเจน เช่น การติดเชื้อไมโคแบคทีเรียในเด็กหลังการรักษาทางทันตกรรมในรัฐแคลิฟอร์เนียและจอร์เจียของสหรัฐอเมริกา⁴ นอกจากนี้ ยังมีรายงานการติดเชื้อไมโคแบคทีเรีย และ ลิจิโอเนลลา หลังการรักษารากฟัน การถอนฟันกรามซี่ที่สาม และหัตถการทั่วไปทางทันตกรรมอีกด้วย⁴ เหตุการณ์เหล่านี้ชี้ให้เห็นว่า การตรวจนับจำนวนจุลชีพโดยใช้ค่ามาตรฐาน Heterotrophic Plate Count (HPC) เพียงอย่างเดียวไม่เพียงพอต่อการประเมินความเสี่ยงทางคลินิก เนื่องจากอันตรายที่แท้จริงเกิดจากชนิดและความรุนแรงของเชื้อก่อโรคฉวยโอกาสที่มีอยู่ ซึ่งจำเป็นต้องใช้แนวทางการฆ่าเชื้อที่เจาะจงตามชนิดของเชื้อ หากตรวจพบเชื้อฉวยโอกาสเหล่านี้จำเป็นต้องมีมาตรการที่เร่งด่วนในการกำจัด

ความเสี่ยงในการแพร่เชื้อยังเกิดขึ้นได้ทั้งต่อผู้ป่วยและบุคลากรทางทันตกรรม ผ่านละอองลอย (aerosols) และละออง

กระเด็น (spatters) ที่เกิดจากการใช้เครื่องมือหมุนความเร็วสูง⁵ ละอองเหล่านี้ประกอบด้วยทั้งน้ำที่ปนเปื้อนและสารชีวภาพ เช่น น้ำลาย เลือด และคราบจุลินทรีย์จากในช่องปากของผู้ป่วย⁵ งานวิจัยหลายฉบับยืนยันว่า มีการดูดย้อนของสารคัดหลั่งจากช่องปากผู้ป่วยเข้าสู่ระบบน้ำของยูนิตได้แม้ว่ายูนิตจะติดตั้งวาล์วป้องกันการดูดกลับ (anti-retraction valves) ตามที่กำหนดแล้วก็ตาม² ดังนั้น การป้องกันการออกแบบทางวิศวกรรมเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอสำหรับการควบคุมการติดเชื้อในยูนิตทันตกรรม จำเป็นต้องมีมาตรการควบคุมเชิงกระบวนการที่เข้มงวด ได้แก่ การเดินน้ำและลมล้างระบบเป็นเวลา 2 นาทีก่อนเริ่มปฏิบัติงานในแต่ละวัน และเดินน้ำล้างระบบ 20–30 วินาทีหลังการรักษาผู้ป่วยแต่ละราย⁶ ซึ่งถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการลดการปนเปื้อนในระบบ

ในประเทศไทยเคยมีการสำรวจการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในระบบน้ำของยูนิตทันตกรรมในสถานประกอบการทันตกรรมในเขตกรุงเทพมหานคร⁷ ในปี พ.ศ. 2553 พบการปนเปื้อนของเชื้อแบคทีเรียในระบบน้ำของยูนิตทันตกรรมในระดับสูงมากกว่า 100,000 CFU/ml ถึงแม้บางคลินิกจะมีมาตรการในการควบคุมเชื้อในระบบน้ำแต่ก็ยังไม่สามารถควบคุมเชื้อให้อยู่ในค่ามาตรฐานที่ 500 CFU/ml ได้ แสดงให้เห็นว่าปัญหาการปนเปื้อนของเชื้อในระบบน้ำของยูนิตทันตกรรมในประเทศไทยยังคงเป็นปัญหาที่รบกวนแก้ไขอย่างเป็นรูปธรรม

2. มาตรฐานคุณภาพน้ำจากระบบน้ำของยูนิตทันตกรรม

2.1 มาตรฐานและข้อกำหนดเกี่ยวกับคุณภาพน้ำจากยูนิตทันตกรรมในสหรัฐอเมริกา

ข้อกำหนดทางกฎหมายที่ควบคุมคุณภาพน้ำในระบบยูนิตทันตกรรม ของสหรัฐอเมริกา มีความเป็นเอกภาพภายใต้ฉันทามติร่วมของหน่วยงานภาครัฐและองค์กรวิชาชีพสำคัญ ได้แก่ ศูนย์ควบคุมและป้องกันโรค (Centers for Disease Control and Prevention: CDC), สมาคมทันตแพทย์อเมริกัน (American Dental Association: ADA) และสำนักงานคุ้มครองสิ่งแวดล้อม (Environmental Protection Agency: EPA) ทั้งสามหน่วยงานกำหนดให้น้ำที่ใช้ในกระบวนการรักษาทางทันตกรรมทั่วไปที่ไม่ใช่การผ่าตัด ต้องมีคุณภาพเทียบเท่ากับมาตรฐานน้ำดื่มของ EPA⁸ เกณฑ์มาตรฐานสำคัญนี้ระบุว่า ปริมาณจุลชีพในน้ำต้องไม่เกิน 500 โคโลนีฟอร์มมิงยูนิตต่อมิลลิลิตร (CFU/mL) สำหรับแบคทีเรียเฮเทอโรโทรฟ (heterotrophic bacteria)⁴

เดิมทีในปี พ.ศ. 2538 (ค.ศ. 1995) ADA เคยเสนอเป้าหมายที่เข้มงวดกว่า คือมีการปนเปื้อนของเชื้อได้ไม่เกิน 200 CFU/mL ก่อนจะปรับมาตรฐานในปี พ.ศ. 2547 (ค.ศ. 2004) ให้สอดคล้องกับแนวทางของ CDC ที่กำหนดไว้ไม่เกิน 500 CFU/mL⁹ แม้เกณฑ์ 500 CFU/mL จะเป็น “ค่าขั้นต่ำตามกฎหมาย” ที่ต้องปฏิบัติ แต่การที่ผลิตภัณฑ์เชิงพาณิชย์หลายประเภทและโปรแกรม

ประเมินคุณภาพภายในของคลินิกหลายแห่งในประเทศสหรัฐอเมริกา ยังคงอ้างอิงมาตรฐาน ≤ 200 CFU/mL แสดงให้เห็นว่ามาตรฐานที่เข้มงวดกว่านี้ยังคงได้รับการยอมรับว่าเป็น “ค่ามาตรฐานเป้าหมาย” เพื่อเพิ่มความปลอดภัยสูงสุดให้แก่ผู้ป่วย⁵ นอกจากนี้ ค่ามาตรฐาน 500 CFU/mL มาจากเกณฑ์ของน้ำดื่มทั่วไป ไม่ได้ออกแบบมาโดยเฉพาะสำหรับของเหลวที่ถูกทำให้เป็นละออง (aerosolized fluids) และสัมผัสกับเนื้อเยื่อเปิดระหว่างการรักษาทางทันตกรรม ดังนั้นการตั้งเป้าหมายที่เข้มงวดกว่าค่ามาตรฐานขั้นต่ำทางกฎหมาย จึงถือเป็นแนวทางที่เหมาะสม โดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมทางคลินิกที่มีความเสี่ยงสูง

ล่าสุด CDC ของประเทศสหรัฐอเมริกา ได้ออก ประกาศแจ้งเตือนด้านสุขภาพ (CDC Health Advisory Notice) เมื่อวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2565 (ค.ศ. 2022) โดยเน้นย้ำถึงความสำคัญของการดูแลและตรวจสอบระบบน้ำของยูนิตทันตกรรมอย่างต่อเนื่อง โดยมีการอ้างอิงถึงกรณีการระบาดของเชื้อไมโครแบคทีเรียเป็นเหตุผลหลักที่ต้องเพิ่มความเข้มงวดในการเฝ้าระวัง⁴ ประกาศนี้สะท้อนถึง การยกระดับความสำคัญของการกำกับดูแล และย้ำเตือนถึงความเสี่ยงด้านความรับผิดชอบทางกฎหมายสำหรับสถานพยาบาลทางทันตกรรมที่ไม่สามารถรักษาคุณภาพน้ำให้เป็นไปตามมาตรฐานได้

ในสถานการณ์เฉพาะทางคลินิกบางประการมีการกำหนดมาตรฐานไว้อย่างเข้มงวด ตัวอย่างเช่น ศูนย์ควบคุมและป้องกันโรคแห่งสหรัฐอเมริกา กำหนดไว้อย่างชัดเจนว่า สำหรับหัตถการผ่าตัดในช่องปากทุกประเภท ซึ่งหมายถึงหัตถการใด ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกรีด การตัด การเปิดแผล หรือการเจาะกระดูก จำเป็นต้องใช้ น้ำหรือสารละลายเกลือปราศจากเชื้อ (sterile water หรือ sterile saline) เป็นตัวหล่อเย็นหรือชะล้างบาดแผลเท่านั้น^{4,8} นอกจากนี้ ยังกำหนดว่าของเหลวปราศจากเชื้อดังกล่าวจะต้องถูกส่งผ่านระบบที่เหมาะสม โดยทั่วไปจะต้องเป็นระบบแยกจากท่อน้ำมาตรฐานของยูนิตทันตกรรม และมักใช้อุปกรณ์แบบใช้ครั้งเดียวแล้วทิ้ง (single-use disposable components) ในการนำส่งน้ำเพื่อป้องกันการปนเปื้อน

2.2 การเปรียบเทียบมาตรฐานคุณภาพน้ำจากยูนิตทันตกรรมในระดับสากลและแนวทางปฏิบัติของประเทศไทย

แม้สหรัฐอเมริกาจะยึดค่าการปนเปื้อนของเชื้อในระบบน้ำตามเกณฑ์ขั้นต่ำที่ไม่เกิน 500 CFU/mL แต่หน่วยงานกำกับดูแลในหลายประเทศกลับใช้มาตรฐานที่เข้มงวดกว่านี้ ตัวอย่างเช่น สหภาพยุโรป (European Union: EU) ภายใต้ข้อกำหนด *EU Drinking Water Directive* กำหนดให้ระดับจุลชีพต้องไม่เกิน 100 CFU/mL^{10,11} ความแตกต่างนี้สะท้อนให้เห็นว่า การรักษาคุณภาพน้ำให้สะอาดกว่ามาตรฐานของสหรัฐฯ นั้นเป็นไปได้จริง และแสดงถึงมาตรฐานการดูแลผู้ป่วยที่สูงขึ้น ซึ่งควรได้รับการพิจารณาในระดับนโยบาย

ในประเทศไทยยังไม่มีข้อกำหนดทางกฎหมายเกี่ยวกับคุณภาพน้ำที่ออกมาจากยูนิตทันตกรรมโดยตรง แต่ข้อแนะนำในการดูแลระบบส่งน้ำดีของยูนิตทันตกรรมและมาตรฐานคุณภาพน้ำ ถูกกล่าวถึงเป็นครั้งแรกใน แนวทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางทันตกรรม 2567 (Dental Safety Goals & Guidelines 2024)¹² และเกณฑ์ประเมินมาตรฐานคุณภาพและความปลอดภัยบริการทันตกรรม 2567 (Thai Dental Clinic Accreditation Standard 2024)¹³ ซึ่งระบุว่าคลินิกทันตกรรมควรมีการดูแลคุณภาพน้ำและท่อนำระบบน้ำดีของยูนิตทันตกรรมอย่างสม่ำเสมอ โดยแนะนำให้ใช้หลายมาตรการร่วมกัน อาทิเช่น การใช้ระบบป้องกันการดูดกลับของด้ามกรอฟัน การเดินเครื่องพ่นน้ำออกจากสายส่งน้ำของยูนิตทันตกรรม 2 นาที ก่อนเริ่มปฏิบัติงานในแต่ละวัน และ 20-30 วินาที ระหว่างเปลี่ยนผู้ป่วยแต่ละราย การทำให้ระบบส่งน้ำแห้งในช่วงที่ไม่มีการใช้งานยูนิต หรือการใช้ภาชนะบรรจุน้ำที่สะอาดและเลือกใช้น้ำกรองหรือน้ำที่ผ่านการฆ่าเชื้อแล้ว รวมทั้งยังแนะนำให้ใช้สารเคมีเพื่อฆ่าเชื้อในท่อส่งน้ำดีทั้งในลักษณะแบบเป็นครั้งคราว และการใส่สารเคมีความเข้มข้นต่ำในระบบน้ำอย่างต่อเนื่องหรือการใช้น้ำที่มีฤทธิ์ออกซิไดซ์ที่สามารถฆ่าเชื้อได้ เช่นน้ำไฮโปคลอไรต์ หรือน้ำคลอรีน นอกจากนี้ยังแนะนำให้ ใช้น้ำเกลือปราศจากเชื้อหรือน้ำกลั่นปราศจากเชื้อฉีดหล่อหรือฉีดล้างขณะทำงานศัลยกรรม อย่างไรก็ตาม แนวปฏิบัตินี้ยังไม่ถือเป็นข้อบังคับตามกฎหมายเป็นเพียงข้อแนะนำขององค์กรวิชาชีพในประเทศไทย และเป็นส่วนหนึ่งของเกณฑ์การตรวจประเมินเพื่อขอรับรองมาตรฐานคุณภาพและความปลอดภัยบริการทันตกรรม โดยสถาบันทันตกรรม กรมการแพทย์ และทันตแพทยสภา

3. แนวทางการจัดการปนเปื้อนของเชื้อในระบบน้ำของยูนิตทันตกรรมแบบองค์รวม

การจัดการปนเปื้อนของระบบน้ำในยูนิตทันตกรรมอย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นต้องใช้กลยุทธ์แบบบูรณาการ 3 ด้าน ที่สามารถจัดการได้ทั้ง แบคทีเรียในรูปแบคทีเรียลอย (planktonic bacteria), ไบโอฟิล์มที่ก่อตัวแล้ว, และ ความเสี่ยงของการปนเปื้อนระหว่างผู้ป่วย กลยุทธ์นี้ต้องผสมผสานระหว่าง การควบคุมทางกายภาพ, การใช้สารเคมีอย่างต่อเนื่องเพื่อยับยั้งการเจริญของจุลชีพ, และ การทำความสะอาดเป็นครั้งคราวด้วยสารเคมีที่มีความเข้มข้นสูงเป็นระยะ

3.1 การลดเชื้อด้วยการเพิ่มขึ้นตอนปฏิบัติงาน (การไล่น้ำค้ำงท่อ)

ขั้นตอนพื้นฐานที่สุดของการลดจำนวนจุลชีพในระบบน้ำ คือ การจัดการทางกายภาพของท่อน้ำ หลังการรักษาผู้ป่วยแต่ละราย จำเป็นต้องพ่นน้ำและลมล้างระบบส่งน้ำดีอย่างน้อย 20-30 วินาที เพื่อชะล้างสารชีวภาพที่อาจถูกดูดย้อนจากปากผู้ป่วยเข้าสู่ท่อ และเพื่อลดจำนวนแบคทีเรียลอยที่สะสมอยู่ในช่วงเวลาน้ำค้ำงนี้ ระหว่างหัตถการ² นอกจากนี้การจัดการปัญหาน้ำค้ำงนี้ยังต้องดำเนินการอย่างเป็นระบบในแต่ละวันโดยเฉพาะหลังวันที่คลินิกปิดทำการ โดย

ทุกเช้าก่อนเริ่มงานควรทำการฉีดพ่นน้ำล้างระบบออกจากทุกสายที่มีน้ำ อย่างน้อย 2-3 นาที เพื่อกำจัดแบคทีเรียที่เพิ่มจำนวนขึ้นขณะยูนิตไม่ได้ใช้งาน⁶ สำหรับยูนิตที่มี ขวดเติมน้ำอิสระ (independent water reservoir) ควรระบายน้ำออกจากท่อทุกคืนเพื่อป้องกันการตกตะกอนของน้ำที่ค้ำงนี้^{14,15}

3.2 รูปแบบการใช้สารเคมีในการควบคุมการปนเปื้อนของเชื้อในระบบน้ำของยูนิตทันตกรรม

แนวทางการจัดการปนเปื้อนของเชื้อในระบบน้ำดีของยูนิตทันตกรรมด้วยการใช้สารเคมีที่มีประสิทธิภาพต้องผสมผสานสองวิธีการเข้าด้วยกัน กล่าวคือ ใช้ทั้งการล้างท่อส่งน้ำเป็นครั้งคราว (Shock Treatment) ร่วมกับการใส่สารเคมีอย่างต่อเนื่องในระบบน้ำดี (Continuous Treatment)

การใส่สารเคมีอย่างต่อเนื่องในระบบน้ำ (Continuous Treatment)

การใส่สารเคมีอย่างต่อเนื่องในระบบน้ำดีคือการเติม สารฆ่าเชื้อที่มีความเข้มข้นต่ำและเข้ากันได้กับระบบลงในน้ำที่ใช้เติมในขวดน้ำของยูนิตทันตกรรมเป็นประจำทุกวัน ตัวอย่างของสารที่นิยมใช้ได้แก่ คลอรีนไดออกไซด์ชนิดคงตัว (stabilized chlorine dioxide) ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (hydrogen peroxide)¹⁶ ไอออนเงิน (silver ions)^{17,18} การเติมสารเคมีเหล่านี้มีจุดประสงค์เพื่อ ยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียล่องลอย และป้องกันการยึดเกาะเริ่มต้นของจุลชีพที่อาจนำไปสู่การก่อตัวของไบโอฟิล์มใหม่¹⁸ อย่างไรก็ตาม การรักษาแบบต่อเนื่องไม่สามารถกำจัดการปนเปื้อนในระดับสูงหรือทำลายไบโอฟิล์มที่ก่อตัวสมบูรณ์แล้วได้อย่างมีประสิทธิภาพ วัตถุประสงค์หลักของระบบนี้คือ การคงไว้ซึ่งคุณภาพน้ำที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานมากกว่าการจัดการปนเปื้อนที่มีอยู่เดิม¹⁹

การล้างท่อส่งน้ำเป็นครั้งคราว (Shock Treatment)

การล้างท่อส่งน้ำเป็นครั้งคราว (Shocking) หมายถึงการใช้สารฆ่าเชื้อที่มีความเข้มข้นสูง ร่วมกับระยะเวลาสัมผัสที่ยาวนาน (มักใช้เวลาหลายชั่วโมงหรือทิ้งไว้ข้ามคืน) เพื่อทำลายไบโอฟิล์มที่เจริญเต็มที่ ซึ่งการใส่สารเคมีอย่างต่อเนื่องในระบบน้ำดีไม่สามารถทำได้อย่างมีประสิทธิภาพ¹⁹

การล้างท่อส่งน้ำดีถือเป็นขั้นตอน บังคับ ในหลายกรณีดังต่อไปนี้²⁰:

1. ก่อนเริ่มต้นการใช้สารเคมีชนิดใหม่ หรือ ก่อนเปลี่ยนไปใช้ผลิตภัณฑ์อีกยี่ห้อหนึ่ง เพื่อให้แน่ใจว่าระบบปราศจากสารตกค้างหรือจุลชีพจากระบบเดิม
2. ทันทีหลังจากผลการตรวจคุณภาพน้ำไม่ผ่านมาตรฐาน (มีปริมาณจุลชีพเกิน 500 CFU/mL)
3. เป็นส่วนหนึ่งของการบำรุงรักษาเชิงป้องกันตามรอบเวลา โดยทั่วไปแนะนำให้ทำอย่างน้อย ทุก 3 เดือน (รายไตรมาส) สำหรับคลินิกที่ต้องการรักษามาตรฐานคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่อง²¹
4. เมื่อยูนิตไม่ได้ใช้งานเป็นเวลานานกว่า 2 สัปดาห์ (14 วันขึ้นไป) เพื่อป้องกันการสะสมของจุลชีพและการเกิดไบโอฟิล์มใหม่

5. เมื่อสงสัยว่าแหล่งน้ำต้นทางมีการปนเปื้อน เช่น หลังเกิดเหตุท่อประปาหลักแตกหรือระบบน้ำมีการซ่อมบำรุงที่อาจนำสิ่งสกปรกเข้าสู่ระบบ²²

การล้างท่อส่งน้ำดีจึงถือเป็นมาตรการสำคัญในการ “รีเซ็ต” ระบบน้ำของยูนิททันตรกรรม เพื่อให้พร้อมกลับเข้าสู่การควบคุมเชิงป้องกันและคงคุณภาพน้ำให้อยู่ในระดับที่ปลอดภัยต่อผู้ป่วยและบุคลากร

3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพและความเข้ากันได้ของสารเคมีในระบบน้ำของยูนิททันตรกรรม

การเลือกใช้สารเคมีในการฆ่าเชื้อในระบบน้ำของยูนิททันตรกรรมจำเป็นต้องพิจารณาอย่างรอบคอบระหว่าง ประสิทธิภาพในการกำจัดจุลชีพ และความเสี่ยงต่อการกัดกร่อนของระบบหรือการเกิดสารพิษรองจากปฏิกิริยาเคมี

ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ (H_2O_2) และไอออนเงิน (Silver ion)

ระบบที่ใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์เป็นพื้นฐานได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีความปลอดภัยสูง และมีผลกระทบต่อวัสดุภายในระบบน้ำของยูนิทน้อยกว่าเมื่อเทียบกับสารกลุ่มคลอรีน ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ไม่ทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในไบโอฟิล์มจนเกิด สารไตรฮาโลมีเทน (Trihalomethanes: THMs) ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง²³ อีกทั้งยังสามารถใช้ร่วมกับ ไอออนเงิน ได้อย่างปลอดภัยในการเติมลงในระบบน้ำอย่างต่อเนื่อง²⁴ เพื่อเพิ่มฤทธิ์ในการยับยั้งการเจริญของจุลชีพ

อย่างไรก็ตามหากต้องการกำจัดเชื้อฉวยโอกาสหรือเชื้อก่อโรคบางกลุ่ม เช่น การลดจำนวนเชื้อ Legionella ลงถึงระดับ 5-log reduction (ลดลง 100,000 เท่า) การใช้ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับไอออนเงินจำเป็นต้องมี ระยะเวลาสัมผัสนานถึง 15 ชั่วโมง เพื่อให้สามารถแทรกซึมและทำลายโครงสร้างเมทริกซ์ของไบโอฟิล์มได้อย่างสมบูรณ์²⁴ ดังนั้นแนวทางปฏิบัติที่ดีควรกำหนดให้การแช่สารเคมีนี้ทำในช่วงกลางคืนหรือสุดสัปดาห์เพื่อให้ระยะเวลาสัมผัสเพียงพอ

โซเดียมไฮโปคลอไรต์ ($NaOCl$)

แม้โซเดียมไฮโปคลอไรต์จะมีประสิทธิภาพสูงในการฆ่าเชื้อ แต่ก็ถือว่าเป็นสารที่มีฤทธิ์กัดกร่อนรุนแรงและอาจทำลายวัสดุภายในระบบท่อน้ำได้อย่างมาก การใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ยังมีความเสี่ยงรองที่สำคัญ ได้แก่ การทำปฏิกิริยากับสารอินทรีย์ในไบโอฟิล์มจนเกิด สารไตรฮาโลมีเทน ซึ่งเป็นสารก่อมะเร็ง²³ และสารออกซิไดซ์อย่างโซเดียมไฮโปคลอไรต์ยังสามารถละลายปรอทจากวัสดุบูรณะฟันผสมอมัลกัมออกมาในน้ำของยูนิท²³ ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อมลพิษทางสิ่งแวดล้อม ด้วยเหตุนี้การใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์จึงควรถูกจำกัดหรือหลีกเลี่ยง และเปลี่ยนไปใช้สารทางเลือกที่ปลอดภัยกว่าแทน

คลอรีนไดออกไซด์ (ClO_2)

คลอรีนไดออกไซด์ชนิดคงตัว (stabilized chlorine dioxide) เป็นสารที่มีประสิทธิภาพสูงในการควบคุมไบโอฟิล์ม และ

เมื่อใช้ความเข้มข้นตามคำแนะนำของผู้ผลิตจะไม่กัดกร่อนโลหะภายในระบบน้ำของยูนิททันตรกรรม²⁵ คลอรีนไดออกไซด์สามารถใช้ได้ทั้งในรูปแบบการใส่สารเคมีอย่างต่อเนื่องในระบบน้ำ และการล้างท่อส่งน้ำในช่วงข้ามคืน (initial overnight shock) พบว่าสามารถควบคุมการก่อตัวของไบโอฟิล์มได้อย่างมีประสิทธิภาพ และรักษาระดับปริมาณจุลชีพในน้ำให้น้อยกว่า 200 CFU/mL ได้อย่างสม่ำเสมอ²⁵

น้ำที่มีฤทธิ์ออกซิไดซ์ เช่น พลาสมา ไอออน หรือไอโอดีน

น้ำที่มีฤทธิ์ออกซิไดซ์มีอำนาจในการฆ่าเชื้อ เช่นการทำให้น้ำแตกตัวเป็นพลาสมาไอออนที่มีประจุบวกและลบ ที่เรียกว่า Plasma-Activated Water (PAW) นอกจากนี้ยังมีเทคโนโลยีการจัดเรียงโมเลกุลของน้ำใหม่ให้เกิดเป็นโอโซน (O_3) ซึ่งมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อหรือลดบรจุเรซินที่สามารถปลดปล่อยไอโอดีน (iodinated resin) ออกมาในน้ำอย่างช้า ๆ ในระดับต่ำ ๆ ซึ่งไอโอดีนเป็นสารออกซิไดซ์ซึ่งมีฤทธิ์ในการฆ่าเชื้อ น้ำที่มีฤทธิ์ออกซิไดซ์เหล่านี้ได้รับการพิสูจน์แล้วว่ามีความปลอดภัยและในขณะเดียวกันมีฤทธิ์ฆ่าเชื้อสามารถนำมาใช้ในการควบคุมเชื้อในระบบน้ำของยูนิททันตรกรรมในลักษณะต่อเนื่องได้^{26,27}

3.4 การควบคุมเชื้อด้วยวิธีทางกายภาพและการออกแบบทางวิศวกรรม

ระบบน้ำอิสระ (Self-Contained Water Systems)

ระบบน้ำอิสระ หรือ ขวดน้ำแยก (independent reservoirs) เป็นคุณลักษณะมาตรฐานของยูนิททันตรกรรมสมัยใหม่ ซึ่งช่วยแยกระบบน้ำของยูนิทออกจากแหล่งน้ำประปาหลัก ทำให้ทันตแพทย์สามารถควบคุมแหล่งน้ำที่ใช้ได้เอง และสามารถเติมสารเคมีเฉพาะเพื่อฆ่าเชื้อหรือป้องกันการเกิดไบโอฟิล์มได้อย่างเหมาะสม อย่างไรก็ตาม การใช้ น้ำกลั่น (distilled water) หรือ น้ำที่ผ่านระบบรีเวิร์สออสโมซิส (RO water) เพียงอย่างเดียว ยังไม่เพียงพอในการป้องกันการเกิดไบโอฟิล์ม การเติมสารเคมีฆ่าเชื้อที่มีฤทธิ์อ่อนและปลอดภัยลงในน้ำที่ใช้เติมในถัง หรือการใส่สารเคมีอย่างต่อเนื่องในระบบน้ำ จะช่วยป้องกันการเจริญของจุลชีพและการยึดเกาะของไบโอฟิล์มภายในท่อส่งน้ำของยูนิททันตรกรรมและลดเชื้อที่ออกมาจากปลายสายในระยะยาวได้⁶

ตัวกรองจุลชีพแบบติดปลายทาง (Point-of-Use: POU Microbial Filters)

ตัวกรองแบบ POU (Point-of-Use) ติดตั้งไว้บริเวณก่อนถึงปลายทางของเครื่องมือทันตรกรรม เช่น หัวกรอ (handpiece) หรือ หัวฉีดน้ำ-ลม (air-water syringe) ทำหน้าที่เป็นด่านสุดท้ายในการกรองเชื้อก่อนถึงผู้ป่วย²⁸ ตัวกรองชนิดนี้มีประสิทธิภาพสูงในการดักจับและกำจัดจุลชีพในน้ำ โดยสามารถลดจำนวนแบคทีเรีย Heterotrophic Plate Count (HPC) ได้มากกว่าร้อยละ 99 และกำจัดเชื้อก่อโรคฉวยโอกาส เช่น Legionella และ Mycobacterium ได้อย่างสมบูรณ์ในจุดจ่ายน้ำ²⁹ อย่างไรก็ตามตัวกรอง POU ไม่สามารถ

ควบคุมหรือกำจัดไบโอฟิล์มที่อยู่ภายในท่อน้ำต้นทางได้²⁸ อีกทั้งยังมีแนวโน้มลดต้นทุนอย่างรวดเร็วจึงต้องมีการเปลี่ยนแปลงตามรอบเวลาที่กำหนดอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาที่สูงขึ้น²⁸ ดังนั้นตัวกรอง POU จึงมักถูกนำมาพิจารณาเป็นลำดับสุดท้าย ซึ่งจำเป็นต้องใช้ร่วมกับระบบบำบัดน้ำด้วยสารเคมีอย่างต่อเนื่อง เพื่อควบคุมไบโอฟิล์มในระบบน้ำอย่างมีประสิทธิภาพ

4. การตรวจสอบ การยืนยันผล และการดำเนินการเพื่อให้ได้คุณภาพน้ำตามมาตรฐานที่กำหนด

การตรวจสอบคุณภาพน้ำเป็นกระบวนการสำคัญที่ใช้ในการยืนยันว่ามาตรการกำจัดการปนเปื้อนที่ดำเนินการอยู่มีประสิทธิภาพจริง การดำเนินงานในส่วนนี้จำเป็นต้องมีการจัดทำมาตรฐานการปฏิบัติงาน (Standard Operating Procedures: SOPs) แบบเป็นลายลักษณ์อักษรเพื่อเป็นแนวทางให้บุคลากรปฏิบัติตามขั้นตอนการดูแลรักษา และการตรวจสอบคุณภาพน้ำอย่างถูกต้องและสม่ำเสมอ²⁸ ข้อมูลจากการสำรวจในช่วงหลังพบว่าแม้ทันตบุคลากรส่วนใหญ่ตระหนักถึงความสำคัญของคุณภาพน้ำในยูนิตทันตกรรม แต่ยังคงขาดความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับวิธีการฆ่าเชื้อและการตรวจสอบคุณภาพน้ำอยู่มาก ซึ่งสะท้อนถึงความจำเป็นในการจัดให้มีการฝึกอบรมบุคลากรอย่างเป็นระบบและมีการบันทึกหลักฐานการฝึกอบรมเพื่อรับรองว่าการดำเนินการตามมาตรฐานด้านการควบคุมการติดเชื้อเป็นไปอย่างถูกต้องและยั่งยืน⁴

4.1 แนวทางและวิธีการตรวจสอบคุณภาพน้ำในระบบยูนิตทันตกรรม

การตรวจสอบคุณภาพน้ำต้องดำเนินการอย่างเป็นระบบและแม่นยำ โดยมีเป้าหมายเพื่อประเมินประสิทธิภาพของมาตรการควบคุมและรักษาคุณภาพน้ำในยูนิตทันตกรรมอย่างต่อเนื่อง

การตรวจสอบเบื้องต้น (Baseline Testing) ควรทำการตรวจสอบคุณภาพน้ำในกรณีต่อไปนี้: เมื่อมีการติดตั้งอุปกรณ์ใหม่ เมื่อมีการเปลี่ยนสารเคมีหรือผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในระบบน้ำ หรือ เมื่อมีการเปลี่ยนผู้รับผิดชอบด้านการบำรุงรักษาระบบ²⁰

การตรวจสอบตามรอบเวลา (Routine Testing) เป็นส่วนหนึ่งของโปรแกรมการติดตามคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่อง โดยต้องมีการเก็บตัวอย่างและตรวจวัดตามรอบเวลาที่กำหนดอย่างเคร่งครัด³⁰

การตรวจควบคุมครอบคลุมทุกช่องทางน้ำที่เกี่ยวข้องกับการทำหัตถการได้แก่²⁰

- ท่อน้ำของหัวกรอความเร็วสูง (high-speed handpiece lines)
- ท่อของหัวฉีดน้ำและลม (air-water syringe lines)
- ท่อของเครื่องขูดหินน้ำลายอัลตราโซนิค (ultrasonic scaler lines)
- รวมถึงท่อที่ใช้งานไม่บ่อย

การเก็บตัวอย่างต้องทำด้วยเทคนิคปลอดเชื้อ (aseptic technique) โดยสวมถุงมือสะอาดและหลีกเลี่ยงการปนเปื้อนจากภายนอก²⁰ สำหรับยูนิตที่มีการใช้สารเคมีฆ่าเชื้อ จำเป็นต้องมีขั้นตอนการทำให้สารฆ่าเชื้อหยุดทำงาน (germicidal neutralization) ในตัวอย่างที่เก็บ เพื่อให้ผลตรวจสะท้อนถึงจำนวนจุลชีพที่มีชีวิตจริง ไม่ใช่เพียงเซลล์ที่ถูกยับยั้งชั่วคราว³⁰

วิธีมาตรฐานของการตรวจสอบในห้องปฏิบัติการ (Gold Standard Method)

วิธีการตรวจที่ให้ผลแม่นยำที่สุดคือ การใช้ Reasoner's 2 Agar (R2A) ซึ่งเป็นวิธีเพาะเชื้อบนอาหารเลี้ยงเชื้อแบบจาน (plated culture method) โดยต้องบ่มตัวอย่างเป็นเวลา 5-7 วัน เพื่อให้ได้ค่าจำนวนโคโลนิฟอร์มมิงยูนิต (CFU) ที่ชัดเจนและเชื่อถือได้³⁰ นอกเหนือจากการตรวจในห้องปฏิบัติการที่แนะนำให้ทำอย่างน้อยทุก 3 เดือน (รายไตรมาส) คลินิกควรพิจารณาใช้ชุดตรวจภายในคลินิก (in-office screening) แบบง่ายและรวดเร็วเพิ่มเติมในระหว่างรอบ เพื่อตรวจจับการเพิ่มขึ้นของจุลชีพได้ตั้งแต่ระยะเริ่มต้นลดความเสี่ยงในการตรวจไม่ผ่านในรอบการตรวจประเมินหลัก

4.2 ความถี่ในการตรวจสอบและแนวทางการแก้ไขเมื่อไม่ผ่านเกณฑ์

แนวทางมาตรฐานในการควบคุมคุณภาพน้ำของระบบยูนิตทันตกรรมที่มีประสิทธิภาพ ควรเริ่มต้นด้วย การตรวจคุณภาพน้ำทุกเดือน ในช่วงเริ่มต้นของการใช้ระบบใหม่หรือโปรแกรมบำรุงรักษาใหม่ จนกว่าจะได้ผลการตรวจที่ผ่านเกณฑ์อย่างสม่ำเสมอ เมื่อได้ผลการตรวจสองครั้งติดต่อกัน ที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ≤ 500 CFU/mL แล้วจึงสามารถปรับรอบการตรวจเป็น ทุก 3 เดือน (ทุก 90 วัน) ได้²⁰

ตารางที่ 1 แนวทางการตรวจสอบและการแก้ไขคุณภาพน้ำในระบบยูนิตทันตกรรม¹⁹ (มาตรฐานอ้างอิง: ≤ 500 CFU/mL)

Table 1 Guidelines for Monitoring and Correcting Water Quality in Dental Unit Water Systems¹⁹ (Reference standard: ≤ 500 CFU/mL)

ขั้นตอน	การตรวจคุณภาพน้ำ (Heterotrophic plate count: HPC)	แนวปฏิบัติเมื่อผล	
		ผ่านเกณฑ์ (≤ 500 CFU/mL)	ไม่ผ่านเกณฑ์ (> 500 CFU/mL)
การตรวจสอบเบื้องต้น (Day 0)	น้ำที่ออกจากท่อน้ำดี ของยูนิตทันตกรรมทุกสาย ที่มีน้ำออกมา	บันทึกผล และตรวจซ้ำ ภายใน 30 วัน	ล้างท่อส่งน้ำดี (Shock Tx) ทันที และตรวจซ้ำภายใน 30 วัน

ตารางที่ 1 แนวทางการตรวจสอบและการแก้ไขคุณภาพน้ำในระบบยูนิตทันตกรรม¹⁹ (มาตรฐานอ้างอิง: ≤ 500 CFU/mL) (ต่อ.)

Table 1 Guidelines for Monitoring and Correcting Water Quality in Dental Unit Water Systems¹⁹ (Reference standard: ≤ 500 CFU/mL) (cont.)

ขั้นตอน	การตรวจคุณภาพน้ำ (Heterotrophic plate count: HPC)	แนวปฏิบัติเมื่อผล	
		ผ่านเกณฑ์ (≤ 500 CFU/mL)	ไม่ผ่านเกณฑ์ (> 500 CFU/mL)
การตรวจซ้ำหลังทำการล้าง ท่อส่งน้ำดี (Day 30)	น้ำที่ออกจากท่อน้ำดี ของยูนิตทันตกรรมทุกสาย ที่มีน้ำออกมา	บันทึกผล และปรับการตรวจ เป็นทุกไตรมาส	ล้างท่อส่งน้ำดีอีกครั้ง (ย้อนกลับ Day 0) หากผล ไม่ผ่านเกณฑ์เป็นครั้งที่ 2 ให้หยุดใช้งานยูนิต และติดต่อบริษัทผู้ผลิต
การตรวจสอบตามรอบเวลา (ไตรมาส)	น้ำที่ออกจากท่อน้ำดี ของยูนิตทันตกรรมทุกสาย ที่มีน้ำออกมา	บันทึกผล และตรวจซ้ำ ทุกไตรมาส	ล้างท่อส่งน้ำดีอีกครั้ง (ย้อนกลับ Day 0) ตรวจซ้ำทุกเดือน

การวิเคราะห์ข้อมูลการปฏิบัติตามมาตรฐานพบว่า มีความสัมพันธ์ในระดับปานกลางระหว่าง ความถี่ของการตรวจคุณภาพน้ำ กับ อัตราการตรวจพบผลล้นเหลวหรือไม่ผ่านเกณฑ์ นอกจากนี้ยังพบว่า ผลการตรวจที่ไม่ผ่านเกณฑ์จำนวนมากกลับไม่ได้รับการแก้ไขอย่างเหมาะสม โดยเกือบครึ่งหนึ่งของการตรวจซ้ำภายหลัง (ประมาณร้อยละ 47) ยังคงมีค่าจำนวนจุลชีพเกินเกณฑ์มาตรฐาน 500 CFU/mL³¹ ข้อมูลนี้บ่งชี้ว่า บุคลากรอาจเร่งทำการตรวจซ้ำเร็วเกินไป โดยไม่ได้ให้เวลาสารเคมีทำปฏิกิริยาครบตามระยะที่กำหนด หรืออาจมีการปฏิบัติขั้นตอนการล้างท่อส่งน้ำดีไม่ถูกต้อง เช่น ความเข้มข้นของสารไม่เพียงพอ หรือระยะเวลาสัมผัสสั้นเกินไป²²

5. บทสรุปและข้อเสนอเชิงกลยุทธ์สำหรับผู้กำหนดนโยบาย

การกำจัดการปนเปื้อนในระบบน้ำของยูนิตทันตกรรมให้ได้ผลอย่างแท้จริง จำเป็นต้องปรับแนวคิดจากการบำรุงรักษาเชิงรับไปสู่การจัดการแบบบูรณาการเชิงรุกที่เน้นการปฏิบัติตามมาตรฐานอย่างต่อเนื่อง ผู้กำหนดนโยบายควรตระหนักว่า ปัญหาหลักไม่ได้อยู่ที่การควบคุมคุณภาพน้ำเท่านั้น แต่จำเป็นต้องจัดการกับไบโอฟิล์มภายในท่อส่งน้ำซึ่งสามารถเป็นแหล่งสะสมของเชื้อก่อโรคควยโอกาสที่มีความรุนแรงสูงได้หากไม่มีการจัดการอย่างเหมาะสม

นโยบายการจัดการระบบน้ำในยูนิตทันตกรรมที่มีประสิทธิภาพต้องอาศัย กลไกป้องกัน 3 ชั้น (Triple-Barrier Approach) ซึ่งไม่สามารถทดแทนกันได้ เพื่อเพิ่มความปลอดภัยสูงสุดให้แก่ผู้ป่วยและรักษาการปฏิบัติตามมาตรฐานอย่างยั่งยืน (รูปที่ 2)

5.1 การยับยั้งการเจริญของจุลชีพด้วยการใส่สารเคมีฆ่าเชื้ออย่างต่อเนื่องในระบบน้ำ

การใส่สารฆ่าเชื้ออย่างต่อเนื่องในระบบน้ำ โดยสารเคมีที่นำมาใช้นั้นควรได้รับการรับรองว่ามีความปลอดภัย และไม่กัดกร่อนตัวอย่างสารเคมีที่นำมาใช้ เช่น คลอรีนไดออกไซด์ชนิดคงตัว (stabilized ClO_2) หรือ ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์ร่วมกับไอออนเงิน ($\text{H}_2\text{O}_2/\text{Ag}^+$)

ผ่านระบบถังน้ำอิสระของยูนิตทันตกรรมเพื่อยับยั้งการเจริญของแบคทีเรียล่องลอย (planktonic bacteria) และ ป้องกันการก่อตัวของไบโอฟิล์มใหม่⁹ หลอดบรรจุเรซินที่ปลดปล่อยไอโอดีน (iodinated resin cartridge)²⁷ หรือระบบทำให้น้ำแตกตัวเป็นพลาสมาไอออน²⁶ หรือน้ำโอโซน³² เหล่านี้ล้วนเป็นผลิตภัณฑ์ที่ได้รับการพิสูจน์แล้วว่า มีประสิทธิภาพในการควบคุมจุลชีพในระบบน้ำได้

5.2 การกำจัดไบโอฟิล์มด้วยการล้างท่อส่งน้ำเป็นครั้งคราว

การล้างท่อส่งน้ำเป็นครั้งคราว ควรทำอย่างน้อยทุก 3 เดือน (รายไตรมาส) โดยใช้สารฆ่าเชื้อระดับสูงเพื่อทำลายไบโอฟิล์มที่ฝังแน่นตัวอย่างสารเคมีที่แนะนำ เช่น stabilized ClO_2 หรือ H_2O_2 ทั้งนี้ควรกำหนดระยะเวลาสัมผัสของสารให้เพียงพอ (สูงสุดถึง 15 ชั่วโมงหรือข้ามคืน) เพื่อให้สารสามารถแทรกซึมเข้าสู่ชั้นในของไบโอฟิล์มและทำลายได้อย่างสมบูรณ์²⁴ ทั้งนี้ไม่แนะนำให้ใช้โซเดียมไฮโปคลอไรต์ (NaOCl) เนื่องจากฤทธิ์ที่ไม่พึงประสงค์ เช่น การกัดกร่อนโลหะในระบบ การเกิดสารก่อมะเร็งไตรฮาโลมีเทน และการละลายปรอทจากวัสดุบูรณะฟันอะมัลกัม²³

5.3 การป้องกันความเสี่ยงต่อผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงสูงโดยการใช้ตัวกรองจุลชีพที่ปลายสายหรือการใช้น้ำเกลือปราศจากเชื้อในหัตถการที่มีความเสี่ยงสูง

การใช้ตัวกรองจุลชีพที่ปลายสาย (POU filters) โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่มีความเสี่ยงสูงหรือมีภูมิคุ้มกันบกพร่อง เพื่อทำหน้าที่เป็นเกราะป้องกันสุดท้าย ดักจับเชื้อจุลชีพที่อาจหลุดออกมาจากไบโอฟิล์มต้นทางก่อนถึงจุดจ่ายน้ำของเครื่องมือทันตกรรม²⁸ หากไม่สามารถทำได้ให้เสี่ยงไปใช้น้ำเกลือปราศจากเชื้อฉีดเพื่อหล่อเย็นแทนในหัตถการที่มีความเสี่ยงสูง เช่นการผ่าตัดในช่องปาก

ตารางต่อไปนี้เป็นสรุป ข้อกำหนดขั้นต่ำในการดำเนินงาน ที่จำเป็นสำหรับการเตรียมความพร้อมก่อนการตรวจประเมิน และเพื่อให้สามารถรักษาการปฏิบัติตามมาตรฐานได้อย่างต่อเนื่อง

ตารางที่ 2 รายการตรวจสอบความพร้อมของระบบน้ำยูนิตทันตกรรม

Table 2 Checklist for Assessing the Readiness of the Dental Unit Water System

สิ่งที่ควรมี/ปฏิบัติ	ความถี่	เหตุผลในการปฏิบัติ
แนวปฏิบัติที่เป็นลายลักษณ์อักษรในการบำรุงรักษาและตรวจสอบระบบน้ำดีของยูนิตทำฟัน	ทบทวนทุกปี	สอดคล้องกับมาตรฐานในประเทศ
การฟ้นสายไล่น้ำค้างท่อระหว่างเปลี่ยนผู้ป่วย	หลังเสร็จสิ้นการรักษาผู้ป่วยแต่ละราย	ไล่น้ำค้างท่อซึ่งอาจจะมีสารคัดหลั่งจากช่องปากตกค้าง นาน 20-30 วินาที ¹⁴
การใส่สารฆ่าเคมีอย่างต่อเนื่องในระบบน้ำ	ทุกวัน	ฆ่าเชื้อที่ลอยอยู่ในน้ำ (planktonic bacteria) และยับยั้งการก่อตัวของไบโอฟิล์ม ⁹
การล้างท่อส่งน้ำเป็นครั้งคราว	ทุกไตรมาส (เป็นอย่างต่ำ)	กำจัดไบโอฟิล์มที่ก่อตัวแล้ว จำเป็นต้องทำเมื่อผลการตรวจไม่ผ่านเกณฑ์ ²¹
การตรวจคุณภาพน้ำ (Heterotrophic plate count; HPC)	ทุกไตรมาส	ควรอยู่ในค่ามาตรฐานที่ ≤ 500 CFU/mL ²⁰
ใช้น้ำปราศจากเชื้อ	ทุกเหตุการณ์ทางศัลยกรรม	จำเป็นเพื่อความปลอดภัยของผู้ป่วย ¹⁴
บันทึกและทบทวนหากเกิดข้อผิดพลาด หรือหาทางแก้ไขหากไม่ผ่านเกณฑ์	ทำทันทีเมื่อตรวจพบข้อผิดพลาด	แสดงหลักฐานการดำเนินการแก้ไขและการจัดการความรับผิดชอบ ²⁰

พิชิตไบโอฟิล์ม: คู่มือฉบับสมบูรณ์เพื่อระบบน้ำยูนิตทันตกรรมที่ปลอดภัย

สภาพแวดล้อมที่เอื้อต่อการเติบโต

ไบโอฟิล์มคืออะไร?
ชุมชนของจุลินทรีย์เกาะกันบนพื้นผิวภายในท่อส่งน้ำ สร้างเมือกโพลีเมอร์คิซีน ทำให้เกาะกันตอสารฆ่าเชื้อสูงกว่าแบคทีเรียทั่วไป 500 เท่า

ปัจจัยที่ส่งผล

- ท่อขนาดเล็ก
- อัตราการไหลของน้ำต่ำ
- ช่วงเวลา น้ำค้างท่อ

Legionella
Pseudomonas
Mycobacteria

ความเสี่ยงต่อสุขภาพที่มองไม่เห็น
เป็นแหล่งสะสมเชื้อโรคในอากาศแพร่ผ่านละอองน้ำ ก่อการติดเชื้อรุนแรง

ขั้นที่ 3 ป้องกันงานที่มีความเสี่ยงสูง

ในหัตถการผ่าตัด :
ใช้น้ำเกลือปราศจากเชื้อเท่านั้น

พิจารณาโดยใช้ตัวกรองจุลินทรีย์ (PDU filter)

ขั้นที่ 1 การควบคุมทางกายภาพ (ปฏิบัติทุกวัน)

ล้างสายก่อนทำงาน 2-3 นาที หลังรักษาผู้ป่วย 20-30 นาที

↓

ลบล้างและล้างที่อาจถูกดูดย้อนกลับ

มาตรฐานความปลอดภัย ปริมาณเชื้อ ≤ 500 CFU/ml

Unit ที่ได้รับทราบผล จะมีค่าสูงเกินมาตรฐาน

ขั้นที่ 2 การบำบัดด้วยสารเคมี 2 ระยะ

1. ปรนัยกับเมมเบรนต่อเนื่อง (continuous)
เช่น สารฆ่าเชื้อระดับต่ำทุกวัน ยับยั้งการเติบโตของแบคทีเรีย

2. การล้างเมมเบรน (shock)
ใช้สารฆ่าเชื้อเข้มข้นสูงทุก 3 เดือน กำจัด biofilm ที่ฝังแน่น

แนะนำ!
สารที่ประสิทธิภาพปลอดภัยต่ออุปกรณ์: คลอรีน ไดออกไซด์, ไฮโดรเจนเปอร์ออกไซด์

หลีกเลี่ยง!!
สารกัดกร่อนสูง สารก่อมะเร็ง

การตรวจสอบและยืนยันผลคุณภาพน้ำ

ศูนย์อย่างง่ายตรวจสอบที่ห้องปฏิบัติการ อย่างน้อยทุก 3 เดือน ปริมาณเชื้อ ≤ 500 CFU/ml ตรวจสอบกว่าจะผ่านเกณฑ์ 2 ครั้งติดต่อกัน

เมื่อผลตรวจ "ไม่ผ่าน" ต้องทำอะไร?

สถานการณ์	ผลการตรวจคุณภาพน้ำ	การดำเนินการที่ควรทำ
ตรวจตรงแลกร/กวนสอบ	ผ่าน (≤ 500 CFU/ml)	บันทึกผลและตรวจซ้ำในรอบต่อไป (ทุกไตรมาส)
	ไม่ผ่าน (> 500 CFU/ml)	ทำ shock treatment ทำที่ตรวจพบแล้ว 30 วัน
ตรวจซ้ำ (ทดสอบซ้ำ)	ผ่าน (≤ 500 CFU/ml)	บันทึกผลและบันทึกผลตรวจในรอบต่อไป
	ไม่ผ่าน (> 500 CFU/ml)	ทำ shock treatment ทำซ้ำจนไม่ผ่านเกณฑ์ (โดยทั่วไปต้องตรวจซ้ำ 2 ครั้ง)

จัดทำเอกสารและบันทึกเป็นกรณีพิเศษในลายลักษณ์อักษรทุกครั้ง

รูปที่ 2 อินโฟกราฟิกแสดงแนวปฏิบัติที่ดีที่สุดในการกำจัดกรปนเปื้อนของเชื้อในระบบน้ำของยูนิตทันตกรรม

Figure 2 An infographic illustrating best practices for eliminating microbial contamination in dental unit water systems

กิตติกรรมประกาศ

บทความฉบับนี้จัดทำขึ้นโดยได้รับการสนับสนุนจากเทคโนโลยี Gemini Pro และ NotebookLM ในการรวบรวมข้อมูลและร่างเนื้อหาเบื้องต้น โดยผู้เขียนได้ดำเนินการตรวจสอบความถูกต้องของเนื้อหาอย่างละเอียดและเพิ่มเติมข้อมูลเพื่อให้เกิดความสมบูรณ์สูงสุด ผู้เขียนขอขอบพระคุณ นทพ. สิริภัทร วาณิชเสถียร นิสิตทันตแพทย์ ชั้นปีที่ 3 สำหรับความอนุเคราะห์ในการวาดภาพประกอบและปรับปรุงอินโฟกราฟิกให้มีความสวยงามและชัดเจน

เอกสารอ้างอิง

1. Morris BF, Vandewalle KS, Hensley DM, Bartoloni JA. Comparison of in-office dental unit waterline test kits. *Mil Med* 2010;175(11):901-6.
2. Complete Guide to Biofilm in Dental Unit Waterlines - ProEdge Dental Water Labs, Available at <https://proedgedental.com/learning-center/complete-guide-to-biofilm-in-dental-unit-waterlines/>, Cited November 7, 2025.
3. Walker JT, Bradshaw DJ, Bennett AM, Fulford MR, Martin MV, Marsh PD. Microbial biofilm formation and contamination of dental-unit water systems in general dental practice. *Appl Environ Microbiol* 2000;66(8):3363-7.
4. Best Practices for Dental Unit Water Quality | Dental Infection Prevention and Control - CDC, Available at <https://www.cdc.gov/dental-infection-control/hcp/dental-ipc-faqs/best-practices-dental-unit-water-quality.html>, Cited November 7, 2025.
5. Spagnolo AM, Sartini M, Cristina ML. Microbial Contamination of Dental Unit Waterlines and Potential Risk of Infection: A Narrative Review. *Pathogens* 2020;9(8):651.
6. Lee SS, Yang LC, Chang YC. An update of dental unit waterlines disinfection. *J Dent Sci* 2022;17(4):1831-2.
7. Ampomaramveth R, Techathuvan N, Sirihongthong T. A survey of dental unit waterline bacterial contamination methods used in dental clinics around Bangkok. *J Dent Assoc Thai* 2010;60:207-17
8. Guidelines & Best Practices for Dental Unit Waterline Maintenance, Available at <https://totalmedicalcompliance.com/guidelines-and-best-practices-for-dental-unit-waterline-maintenance/> Cited November 7, 2025.
9. Effectiveness of a Dental Unit Waterline Treatment Protocol With A-Dec ICX and Citrisil Disinfectants | Military Medicine | Oxford Academic, Available at <https://academic.oup.com/milmed/article/180/10/1098/4160583>, Cited November 7, 2025.
10. How to perform a QWS HPC Sampler Test - YouTube, Available at <https://www.youtube.com/watch?v=6VSATcd1Q4o>, Cited November 7, 2025.
11. Drinking water Improving access to drinking water for all, https://environment.ec.europa.eu/topics/water/drinking-water_en, Cited November 21, 2025.
12. แนวทางปฏิบัติเพื่อความปลอดภัยทางทันตกรรม 2567 (DSG 2024), Available at <https://dentalcouncil.or.th/Pages/DentalSafetyGoal>, Cited November 21, 2025.

13. Thai Dental Clinic Accreditation Standard 2024, Available at <https://dentalcouncil.or.th/pdf/TDCA2024.pdf>, Cited November 21, 2025
14. Dental Unit Waterlines - FDA, Available at <https://www.fda.gov/medical-devices/dental-devices/dental-unit-waterlines>, Cited November 7, 2025.
15. Disinfection and Decontamination Legionnaires and Managing Dental Unit Waterlines, Available at <https://www.cpd4dentalhygienists.co.uk/PDFs/Disinfection%20and%20Decontamination%20Legionnaires%20and%20Managing%20Dental%20Unit%20Waterlines%20SEPT%202023H.pdf>, Cited November 7, 2025.
16. Zanetti F, De Luca G, Tarlazzi P, Stampi S. Decontamination of dental unit water systems with hydrogen peroxide. *Lett Appl Microbiol* 2003;37(3):201-6.
17. Hong F, Chen P, Yu X, Chen Q. The Application of Silver to Decontaminate Dental Unit Waterlines-a Systematic Review. *Biol Trace Elem Res* 2022;200(12):4988-5002.
18. Petti S, Polimeni A, Allen MJ. Dental unit water treatment with hydrogen peroxide and monovalent silver ions artificially contaminated with freshly isolated pathogens. *Ann Ig* 2015;27(6):789-98.
19. Dental Waterline Shocking: Best Practices for Safe & Effective Biofilm Removal, Available at <https://www.agenics.net/blog/2025/9/23/shocking-best-practices>, Cited November 7, 2025.
20. Dental Unit Waterlines Maintenance Toolkit - Wisconsin Department of Health Services, Available at <https://www.dhs.wisconsin.gov/publications/p03664.pdf>, Cited November 7, 2025.
21. Complete Guide to Shocking Dental Unit Waterlines by ProEdge, Available at <https://proedgedental.com/water-science/shocking-dental-unit-waterlines/>, Cited November 7, 2025.
22. Adams School of Dentistry: Infection Control Manual - Chapter 09: Dental Unit Waterlines (DUWL) & Vacuum Maintenance - UNC Policies, Available at <https://policies.unc.edu/TDclient/2833/Portal/KB/ArticleDet?ID=139925>, Cited November 7, 2025.
23. Update on infectious risks associated with dental unit waterlines, Available at <https://academic.oup.com/femspd/article/65/2/196/681464> Cited November 7, 2025.
24. Ditommaso S, Giacomuzzi M, Ricciardi E, Zotti CM. Efficacy of a Low Dose of Hydrogen Peroxide (Peroxy Ag⁺) for Continuous Treatment of Dental Unit Water Lines: Challenge Test with Legionella pneumophila Serogroup 1 in a Simulated Dental Unit Waterline. *Int J Environ Res Public Health* 2016;13(5):745.
25. Insist on Evidence Based Waterline Cleaner - CloSYS, Available at <https://closys.com/pages/waterline-cleaner-for-dental-units>, Cited November 7, 2025.
26. Noopan S, Unchui P, Techotinnakorn S, Ampomaramveth RS. Plasma Sterilization Effectively Reduces Bacterial Contamination in Dental Unit Waterlines. *Int J Dent* 2019;2019:5720204.
27. Petchphayaprai C, Chotipan C, Sa-Ngiampak P, Thotsaporn

- K, Ampornaramveth RS. Effectiveness of iodine for continuous decontamination of dental unit waterline. *BDJ Open* 2023;9(1):34.
28. Samaranayake L, Fakhruddin K, Sobon N, Osathanon T. Dental Unit Waterlines: Disinfection and Management. *Int Dent J* 2024;74Suppl2(Suppl 2):S437-S445.
29. Sheffer PJ, Stout JE, Wagener MM, Muder RR. Efficacy of new point-of-use water filter for preventing exposure to Legionella and waterborne bacteria. *Am J Infect Control* 2005;33(5 Suppl 1):S20-5.
30. Complete Guide to Testing Dental Unit Waterlines, Available at <https://proedgedental.com/water-science/testing-dental-unit-waterlines/>, Cited November 7, 2025,
31. Buitrago JM, Kolbe RJ, Siqueira MF. Dental unit waterline testing practices: an 11-Year retrospective study. *BMC Oral Health* 2023;23(1):867.
32. Okubo K, Ito T, Shiota Y, Kawata Y, Yamamoto T, Takashiba S. Effectiveness and safety of low-concentrated ozonized water for the reduction of contamination in dental unit water lines. *Heliyon* 2019;5(8):e02306.

อัตราการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่ และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

Survival Rate of Space Maintainers and Related Factors: A Retrospective Study

ประกาศิตน์ ตั้งจิตเพียรพงศ์¹

Prapat Tungjitphanpong¹

¹กลุ่มงานทันตกรรม สถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย

¹Dental department, Queen Sirikit National Institute of Child Health, Bangkok, Thailand

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่ชนิดติดแน่น และระบุปัจจัยเสี่ยงที่เกี่ยวข้องกับความล้มเหลวของเครื่องมือในผู้ป่วยเด็ก โดยทำการศึกษาย้อนหลังจากเวชระเบียนผู้ป่วยเด็กที่ใส่เครื่องมือกันที่ของสถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินีระหว่างเดือนมกราคม ปี พ.ศ.2563 ถึงเดือนธันวาคม ปี พ.ศ.2567 กำหนดจุดสิ้นสุดการติดตามผลจากการนัดตรวจซ้ำครั้งสุดท้ายที่บ้านที่กไว้ในวันเวชระเบียน ไม่ว่าจะพบว่าเครื่องมือยังคงอยู่ในช่องปากหรือไม่ ถือเป็นจุดสิ้นสุดระยะเวลาการติดตามผล แสดงผลข้อมูลด้วยสถิติเชิงพรรณนา วิเคราะห์ความสัมพันธ์โดยใช้สถิติโคสแควร์ และประเมินอัตราการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่ โดยใช้การวิเคราะห์แคแพลน-ไมเออร์ร่วมกับสถิติทดสอบล็อก-แรนจ์และตัวแบบถดถอยค็อกซ์ ผลการศึกษาพบเครื่องมือกันที่ตรงตามเกณฑ์คัดเข้า 193 ชิ้น จากเด็กทั้งหมด 131 คน เป็นเด็กชาย 71 คน เด็กหญิง 60 คน อายุระหว่าง 3.4–10.8 ปี มีอัตราการคงอยู่โดยรวมของเครื่องมือกันที่ชนิดติดแน่นเท่ากับร้อยละ 81.9 โดยแนชแอปโพลแอนซ์มีอัตราการคงอยู่สูงสุดคือร้อยละ 100.0 ซึ่งไม่พบความล้มเหลวของเครื่องมือในช่วงเวลาที่ติดตาม รองลงมาคือ แบนด์และลูปร้อยละ 82.0 (ค่าเฉลี่ยการคงอยู่เท่ากับ 44.36 เดือน) และลิงกวลโซลติงอาร์ชร้อยละ 68.0 (ค่าเฉลี่ยการคงอยู่เท่ากับ 31.49 เดือน) พบความล้มเหลวของเครื่องมือ 35 ชิ้น (ร้อยละ 18.1) รูปแบบความล้มเหลวที่พบมากที่สุดคือ เครื่องมือหลุด (ร้อยละ 54.3) รองลงมาคือ เครื่องมือชำรุดหรือฉีกขาด (ร้อยละ 25.7) และเครื่องมือกดเนื้อเยื่ออ่อน (ร้อยละ 20.0) ตามลำดับ จากการวิเคราะห์ด้วยตัวแบบถดถอยค็อกซ์พบปัจจัยเสี่ยงอิสระ 3 ปัจจัยที่มีผลต่อความล้มเหลวอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ได้แก่ ตำแหน่งขากรรไกรล่าง จำนวนฟันน้ำนมที่ถูกลบมากกว่า 1 ซี่ และสภาวะการไม่มีโรคทางระบบของผู้ป่วย โดยมีอัตราส่วนความเสี่ยงสัมพัทธ์แบบปรับค่าเท่ากับ 2.72 2.33 และ 2.33 (ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95: 1.18–6.28 1.05–5.19 1.10–4.92) ตามลำดับ ไม่พบความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างอัตราการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่กับเพศ ชนิดและจำนวนเครื่องมือ ชนิดของซีฟันที่สูญเสียก่อนกำหนด และตำแหน่งด้านซ้ายหรือขวาของการใส่เครื่องมือ ซึ่งการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเครื่องมือกันที่ทั้ง 3 ชนิดมีอัตราการคงอยู่โดยรวมสูง สามารถพิจารณาใช้เก็บช่องว่างหลังถอนฟันน้ำนมได้ อย่างไรก็ตามการวางแผนการรักษาที่ครอบคลุม นอกจากจะจัดการความเสี่ยงเชิงเทคนิคในขากรรไกรล่างและการสูญเสียฟันหลายซี่แล้ว ควรประเมินประวัติโรคทางระบบของผู้ป่วยอย่างละเอียด เพื่อเพิ่มโอกาสความสำเร็จและการคงอยู่ของเครื่องมือในระยะยาว

คำสำคัญ: เครื่องมือกันที่, อัตราการคงอยู่, อายุการใช้งาน

Abstract

This study aimed to evaluate the survival rate of fixed space maintainers and identify independent risk factors associated with appliance failure in pediatric patients. A retrospective cohort study was conducted using the dental records of pediatric patients who received space maintainers at the Queen Sirikit National Institute of Child Health (QSNICH) between January 2020 and December 2024. The follow-up endpoint was defined up to the final recorded recall appointment, regardless of the appliance's status. Data were analyzed using descriptive statistics and Chi-square tests. Survival analysis was performed using the Kaplan-Meier method with Log-rank tests and Cox

proportional hazards regression. A total of 193 space maintainers from 131 children (71 boys and 60 girls; age range: 3.4–10.8 years) met the inclusion criteria. The overall survival rate was 81.9%. The Nance appliance demonstrated the highest survival rate at 100.0%, with no failures recorded during the follow-up period. This was followed by band and loops at 82.0% (mean survival time: 44.36 months) and lingual holding arches at 68.0% (mean survival time: 31.49 months). Failure occurred in 35 space maintainers (18.1%). The most common mode of failure was appliance dislodgement (54.3%), followed by appliance breaking (25.7%) and soft tissue impingement (20.0%). Multivariate Cox regression analysis identified three independent risk factors significantly associated with failure ($p < 0.05$): mandibular placement (adjusted HR = 2.72), loss of more than one prematurely extracted primary tooth (adjusted HR = 2.33), and the absence of systemic disease (adjusted HR = 2.33) (95% CI: 1.18–6.28, 1.05–5.19, and 1.10–4.92, respectively). No statistically significant associations with the survival rate were observed regarding gender, appliance type, type of missing teeth, or the side of placement. This study indicates that all three types of space maintainers exhibit a high overall survival rate and are effective for space maintenance following the premature loss of primary teeth. However, comprehensive treatment planning should not only consider technical risks associated with mandibular placement and multiple tooth loss but also include a thorough evaluation of the patient's systemic health status, as it significantly influences the long-term longevity and success of the appliance.

Keyword: Space maintainer, Survival rate, Longevity

Received date: Sep 4, 2025

Revised date: Feb 12, 2026

Accepted date: Feb 16, 2026

Doi: 10.14456/jdat.2026.16

ติดต่อเกี่ยวกับบทความ:

ประภารัตน์ ตั้งจิตเพียรพงศ์, กลุ่มงานทันตกรรม สถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กรุงเทพมหานคร 10400 ประเทศไทย
โทร: 087-098-0080 Email: parate25@hotmail.com

Correspondence to:

Praparatt Tungjitphanpong, Dental Department, Queen Sirikit National Institute of Child Health, Bangkok 10400, Thailand.
Tel: 087-098-0080 Email parate25@hotmail.com

บทนำ

ฟันน้ำนมไม่ได้มีหน้าที่เพียงเพื่อการบดเคี้ยวอาหาร การออกเสียงหรือการกลืนเท่านั้น แต่ยังมีบทบาทสำคัญในการคงสภาพช่องว่างในขากรรไกรเพื่อให้ฟันแท้สามารถขึ้นได้ในตำแหน่งและเวลาที่เหมาะสม การสูญเสียฟันน้ำนมก่อนกำหนด ทำให้เกิดช่องว่างขึ้นในขากรรไกร ส่งผลให้ฟันข้างเคียงเคลื่อนตัวหรือล้มเข้าหาช่องว่าง ทำให้พื้นที่ไม่เพียงพอสำหรับฟันแท้ ซึ่งเป็นสาเหตุสำคัญของการเกิดฟันซ้อนเกและการสบฟันผิดปกติในอนาคต¹ ดังนั้นการจัดการช่องว่างด้วยการใส่เครื่องมือกันที่จึงมีความสำคัญอย่างยิ่งในการคงพื้นที่ไว้จนกว่าฟันแท้จะขึ้นสู่ช่องปาก² อย่างไรก็ตาม การตัดสินใจเลือกใช้เครื่องมือกันที่จำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยหลายประการประกอบกัน โดยเฉพาะระยะเวลาการขึ้นของฟันแท้ ซึ่งประเมินได้จากอายุตามปฏิทิน (chronological age) อายุฟัน (dental age) และการวิเคราะห์ภาพถ่ายทางรังสี หากประเมินว่าฟันแท้จะขึ้นภายในระยะเวลา 6 เดือน ทันตแพทย์อาจพิจารณา

ว่าไม่จำเป็นต้องใส่เครื่องมือกันที่ นอกจากนี้ ยังต้องประเมินปัจจัยด้านอื่นของผู้ป่วยร่วมด้วย ได้แก่ สภาวะอนามัยในช่องปาก โรคทางระบบ ลักษณะการสบฟัน ตลอดจนความร่วมมือของผู้ป่วยและผู้ปกครอง ทั้งในด้านการดูแลความสะอาดช่องปากและการมาติดตามหลังใส่เครื่องมือ เนื่องจากเครื่องมือกันที่จำเป็นต้องได้รับการติดตามอย่างเป็นระยะจนกว่าฟันแท้ขึ้น โดยเฉพาะในกรณีที่สูญเสียฟันตั้งแต่อายุน้อย ซึ่งต้องใช้ระยะเวลาในการใส่เครื่องมือและติดตามผลเป็นเวลานาน³

ปัจจุบันสถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินีให้การรักษาทันตกรรมทั้งในเด็กปกติ และผู้ป่วยเด็กที่มีโรคทางระบบรวมถึงผู้ป่วยเด็กที่มีความต้องการพิเศษ ซึ่งผู้ป่วยเหล่านี้มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคฟันผุสูง และมีข้อจำกัดในการดูแลสุขอนามัยช่องปากมากกว่าเด็กปกติ⁴ ส่งผลให้พบการสูญเสียฟันน้ำนมก่อนกำหนดในอัตราที่สูงและจำเป็นต้องได้รับการรักษาด้วยเครื่องมือกันที่

อย่างไรก็ตาม ที่ผ่านมายังไม่มีการศึกษาถึงอัตราการคงอยู่ของเครื่องมือหรือประสิทธิภาพในการคงสภาพช่องว่างในผู้ป่วยกลุ่มนี้ว่าเป็นระบบการประเมินความสำเร็จของการรักษาด้วยเครื่องมือกันที่สามารถพิจารณาได้จากอัตราการคงอยู่ (survival rate) หรืออายุการใช้งานของเครื่องมือ แม้รายงานการศึกษาที่ผ่านมาจะพบอายุการใช้งานที่แตกต่างกันตามชนิดของเครื่องมือ แต่ส่วนใหญ่ใช้ค่ากลางของการคงอยู่ (median survival time) เป็นตัวบ่งชี้ประสิทธิภาพ โดยพบว่าแบนด์และลูป (Band and loop) มีค่ากลางของการคงอยู่ประมาณ 13–20 เดือน⁵⁻⁷ รองลงมาคือ แนนซ์แอปพลายแอนซ์ (Nance appliance) พบค่ากลางของการคงอยู่ที่ระยะเวลาตั้งแต่ 6–24 เดือน และลึงกอลโฮลดิ้งอาร์ช (Lingual holding arch) พบค่ากลางของการคงอยู่ที่ระยะเวลาตั้งแต่ 4–14 เดือน^{5,6}

อย่างไรก็ตาม การศึกษาอัตราการคงอยู่ของเครื่องมือกันในเด็กไทยยังมีจำนวนจำกัด โดยเฉพาะในบริบทของโรงพยาบาลที่มีสัดส่วนผู้ป่วยเด็กที่มีโรคทางระบบสูง ซึ่งแตกต่างจากการศึกษาที่ผ่านมามาในต่างประเทศที่ดำเนินการในมหาวิทยาลัยหรือคลินิกเอกชน^{5, 7-10} นอกจากนี้ ปัจจัยที่มีผลต่อการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่ยังไม่มีข้อสรุปที่ชัดเจน เนื่องจากส่วนใหญ่เป็นการศึกษาแบบตัวแปรเดียว (Univariate analysis) ซึ่งอาจไม่สามารถควบคุมปัจจัยรบกวนได้ครอบคลุม ดังนั้น การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอัตราการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่ชนิดติดแน่น 3 ชนิด ได้แก่ แบนด์และลูป ลึงกอลโฮลดิ้งอาร์ช และแนนซ์แอปพลายแอนซ์ รวมถึงระบุปัจจัยเสี่ยงอิสระ (Independent risk factors) และสาเหตุของความล้มเหลว เพื่อให้ทันตแพทย์สามารถใช้ข้อมูลเชิงประจักษ์ประกอบการพิจารณาวางแผนการรักษาให้มีประสิทธิภาพสูงสุด และลดความเสี่ยงต่อความล้มเหลวของเครื่องมือในผู้ป่วยแต่ละราย นอกจากนี้ ข้อมูลที่ได้รียบังสามารถใช้เป็นแนวทางในการประเมินความคุ้มค่าเชิงเศรษฐศาสตร์ เพื่อสนับสนุนการพิจารณาให้เครื่องมือกันที่เข้าสู่ชุดสิทธิประโยชน์ของระบบหลักประกันสุขภาพถ้วนหน้าสำหรับงานทันตกรรมเด็กต่อไป

วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษานี้ได้รับอนุมัติจากคณะกรรมการจริยธรรมการวิจัยในมนุษย์ สถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี (เลขที่โครงการ REC.036/2568) รูปแบบการวิจัยเป็นการศึกษาแบบย้อนหลัง (Retrospective cohort study) โดยเก็บข้อมูลจากเวชระเบียนผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาด้วยการใส่เครื่องมือกันที่คลินิกทันตกรรม สถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี ระหว่างเดือนมกราคม พ.ศ.2563 ถึงเดือนธันวาคม พ.ศ.2567 โดยมีเกณฑ์การคัดเข้า (inclusion criteria) คือ ผู้ป่วยเด็กที่มีอายุต่ำกว่า 12 ปี ทั้งที่มีสุขภาพแข็งแรงและมีโรคทางระบบ ซึ่งได้ใส่เครื่องมือกันที่ติดแน่น 3 ชนิด ได้แก่ เครื่องมือกันที่ชนิดแบนด์และลูป ลึงกอลโฮลดิ้งอาร์ช หรือแนนซ์แอปพลายแอนซ์ โดยทันตแพทย์เฉพาะทางสาขาทันตกรรม

สำหรับเด็ก และผู้ป่วยมีการติดตามผลการรักษาอย่างน้อย 1 ครั้ง ที่ระยะเวลามากกว่า 6 เดือนขึ้นไป สำหรับเกณฑ์การคัดออก (exclusion criteria) คือ ผู้ป่วยที่ไม่ได้มาติดตามผลหลังการใส่เครื่องมือ หรือมาติดตามผลที่ระยะเวลาสั้นกว่า 6 เดือน รวมถึงเวชระเบียนที่มีข้อมูลไม่ครบถ้วน หรือไม่สามารถสืบค้นข้อมูลได้

ข้อมูลทำการเก็บ ดังนี้

- ข้อมูลทั่วไปของผู้ป่วย ได้แก่ เพศ โรคทางระบบ และอายุขณะเริ่มใส่เครื่องมือกันที่ (หน่วยเป็นเดือน)

- ข้อมูลการสูญเสียฟันน้ำนมก่อนกำหนด ได้แก่ ชนิดและจำนวนของฟันน้ำนมที่ถูกถอนก่อนกำหนด

- ข้อมูลของเครื่องมือกันที่ ได้แก่ ชนิดและจำนวนชิ้นของเครื่องมือกันที่ในช่องปากและรวมถึงกรณีที่มีการทำเครื่องมือขึ้นใหม่ทดแทน ตำแหน่งขากรรไกร (บนหรือล่าง) และด้านที่ใส่เครื่องมือ (ซ้ายหรือขวา)

- ผลการติดตามการคงอยู่เครื่องมือกันที่ แบ่งออกได้ 2 กรณี ความสำเร็จของเครื่องมือกันที่ หมายถึง

1) เครื่องมือยังคงสภาพและอยู่ในช่องปากตลอดช่วงเวลาทำการรักษา

2) ทันตแพทย์เป็นผู้พิจารณาถอดเครื่องมือออกเมื่อฟันแท้ขึ้นช่องว่าง หรือเพื่อเริ่มขั้นตอนการรักษาอื่น ๆ ตามแผนการรักษา

ความล้มเหลวของเครื่องมือกันที่ หมายถึง การสูญเสียการคงอยู่ของเครื่องมือ ก่อนเวลาที่เหมาะสม โดยแบ่งตามสาเหตุ ดังนี้

1) เครื่องมือกดเนื้อเยื่ออ่อน (soft tissue impingement) จนเป็นแผลและจำเป็นต้องถอดเครื่องมือออก

2) เครื่องมือฉีกขาดหรือชำรุด (appliance breaking) เช่น แบนด์ขาด หรือลวดหัก

3) เครื่องมือหลุด (dislodgement)

การเก็บข้อมูลกำหนดให้การนัดตรวจติดตามครั้งสุดท้ายที่บันทึกไว้ในเวชระเบียน ไม่ว่าจะพบว่าเครื่องมือกันที่ยังคงอยู่ในช่องปากหรือไม่ ถือเป็นจุดสิ้นสุดของระยะการติดตามผล โดยมีรายละเอียดนิยามทางสถิติดังนี้

อัตราการคงอยู่ (survival rate) หมายถึง ร้อยละของเครื่องมือกันที่ซึ่งยังคงอยู่ในช่องปาก ณ จุดเวลาใดเวลาหนึ่งที่กำหนด หรือเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการติดตามผล โดยคำนวณจากสัดส่วนของเครื่องมือที่ยังคงอยู่เมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการติดตามต่อจำนวนเครื่องมือทั้งหมด พิจารณาข้อมูลที่มีการถูกตัดออก (censored data) ร่วมด้วย แสดงค่าเป็นร้อยละ

ค่าเฉลี่ยการคงอยู่ (mean survival time) หมายถึง ค่าเฉลี่ยของระยะเวลาที่เครื่องมือสามารถคงสภาพและทำหน้าที่ได้ตามปกติจนกระทั่งเกิดความล้มเหลว ตลอดช่วงระยะเวลาของ

การศึกษา คำนวณจากพื้นที่ใต้เส้นโค้งของการกระจายการคงอยู่ แคนแพลน-ไมเออร์ (Kaplan–Meier curve) โดยมีหน่วยเป็นเดือน

ค่ากลางของการคงอยู่ (median survival time) หมายถึง ระยะเวลาที่เครื่องมือกันที่ร้อยละ 50 ของทั้งหมด ยังคงอยู่ในช่องปาก และทำงานได้ตามปกติ คำนวณจากจุดที่เส้นโค้งแคนแพลน-ไมเออร์ ตัดกับระดับอัตราการคงอยู่ที่ร้อยละ 50 ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่มีการนำข้อมูลที่มีการถูกตัดออกมารวมคำนวณตลอดระยะเวลาการติดตามผล ทั้งนี้ ค่ากลางของการคงอยู่จะสะท้อนประสิทธิภาพของการคงอยู่ได้แม่นยำกว่าค่าเฉลี่ย เนื่องจากมีความทนทานต่อค่าที่เบี่ยงเบนผิดปกติ (outliers) หรือข้อมูลที่มีความแตกต่างกันมาก ในช่วงปลายของการติดตามผล โดยมีหน่วยเป็นเดือน

ข้อมูลที่รวบรวมได้จะนำมาวิเคราะห์ด้วยสถิติเชิงพรรณนา เพื่อแสดงค่าความถี่และร้อยละ จากนั้นทำการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่กับปัจจัยต่าง ๆ โดยใช้สถิติไคสแควร์ (Chi-square test) ที่ระดับความเชื่อมั่น ร้อยละ 95 ประเมินอัตราการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง ด้วยวิธีแคนแพลน-ไมเออร์ (Kaplan–Meier analysis) และเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างกลุ่มปัจจัยด้วยสถิติทดสอบล็อก-แรนค (Log–rank test) นอกจากนี้ ปัจจัยที่พบว่ามีความสัมพันธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติจะถูกนำมาวิเคราะห์ด้วยตัวแบบถดถอยค็อกซ์ (Cox regression) เพื่อระบุปัจจัยเสี่ยงอิสระ (independent risk factors) ที่สัมพันธ์กับความล้มเหลวของเครื่องมือ โดยกำหนดระดับนัยสำคัญทางสถิติที่ $p < 0.05$

ผลการศึกษา

จากการศึกษาเวชระเบียนย้อนหลังของผู้ป่วยเด็กที่ได้รับการใส่เครื่องมือกันที่ที่คลินิกทันตกรรม สถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติ มหาราชนี ระหว่างปี พ.ศ.2563 ถึง พ.ศ.2567 พบเครื่องมือกันที่ตรงตามเกณฑ์คัดเข้าจำนวน 193 ชิ้น จากผู้ป่วยเด็กทั้งหมด 131 คน แบ่งเป็นเด็กชาย 71 คน และเด็กหญิง 60 คน โดยมีอายุที่ขณะเริ่มใส่เครื่องมือระหว่าง 3.4–10.8 ปี (อายุเฉลี่ยเท่ากับ 6.8 ± 1.5 ปี ค่ากลางของอายุเท่ากับ 6.8 ปี) เมื่อพิจารณาสุขภาพของผู้ป่วย พบว่าเป็นเด็กที่มีสุขภาพแข็งแรงจำนวน 83 คน (ร้อยละ 63.4) และเด็กที่มีโรคทางระบบ จำนวน 48 คน (ร้อยละ 36.6) โดยโรคที่พบมากที่สุดคือ โรคหัวใจพิการแต่กำเนิด (14 คน) ตามด้วยโรคมูมิแพ้ (11 คน) โรคเลือด (7 คน) พัฒนาการช้า (6 คน) ปากแหว่งเพดานโหว่ (4 คน) โรคไต (2 คน) สมองพิการ (2 คน) โรคหอบหืด (1 คน) และโรคลมชัก (1 คน) ตามลำดับ ทั้งนี้ ข้อมูลทั่วไปของผู้ป่วยและข้อมูลพื้นฐานของเครื่องมือกันที่แสดงในตารางที่ 1 ระยะเวลาติดตามผลเฉลี่ยเท่ากับ 22.9 เดือน โดยพบเครื่องมือกันที่ขาดการติดตาม (lost to follow-up) จำนวน 14 ชิ้น (ร้อยละ 7.3) จากผู้ป่วยจำนวน 11 คน (ร้อยละ 8.4) นอกจากนี้ ยังพบว่าช่วงเวลาที่มีความล้มเหลวของเครื่องมือสูงสุด คือ ที่ระยะเวลาติดตาม 12 – 24 เดือนหลังการใส่เครื่องมือ โดยพบความล้มเหลวจำนวน 20 ชิ้น (ร้อยละ 25.0 ของจำนวนเครื่องมือที่ยังคงอยู่ภายใต้การติดตามในช่วงเวลาดังกล่าว) อัตราการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่ในแต่ละช่วงเวลาติดตามแสดงรายละเอียดในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ป่วยและเครื่องมือกันที่

Table 1 Demographic characteristics of patients and distribution of space maintainers

ข้อมูลทั่วไป		จำนวน	ร้อยละ
ผู้ป่วยทั้งหมด 131 คน			
อายุเฉลี่ย 6.8 ± 1.5 ปี			
เพศ	ชาย	71 คน	54.2
	หญิง	60 คน	45.8
โรคทางระบบ	ไม่มี	83 คน	63.4
	มี	48 คน	36.6
จำนวนเครื่องมือกันที่ในช่องปาก	1 ชิ้น	80 คน	61.1
	2 ชิ้น	42 คน	32.1
	3 ชิ้น	7 คน	5.3
	4 ชิ้น	2 คน	1.5
เครื่องมือกันที่ทั้งหมด 193 ชิ้น			
ชนิดของเครื่องมือกันที่	Band and loop	150 ชิ้น	77.7
	Lingual holding arch	25 ชิ้น	13.0
	Nance appliance	18 ชิ้น	9.3
อายุที่ใส่เครื่องมือกันที่	< 80 เดือน	92 ชิ้น	47.7
	≥ 80 เดือน	101 ชิ้น	52.3

ตารางที่ 1 ข้อมูลทั่วไปของผู้ป่วยและเครื่องมือกันที่ (ต่อ.)

Table 1 Demographic characteristics of patients and distribution of space maintainers (cont.)

ข้อมูลทั่วไป		จำนวน	ร้อยละ
ชนิดของฟันน้ำนมที่สูญเสียก่อนกำหนด	ฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 1	116 ซี่	60.1
	ฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 2	54 ซี่	28.0
	ฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 1 และ 2	23 ซี่	11.9
ชนิดของฟันที่ยึดแบนด์ (abutment teeth)	ฟันน้ำนม	111 ซี่	57.5
	ฟันแท้	82 ซี่	42.5
จำนวนฟันน้ำนมที่สูญเสียก่อนกำหนด	1 ซี่	152 ซี่	78.7
	2 ซี่	27 ซี่	14.0
	3 ซี่	9 ซี่	4.7
	4 ซี่	5 ซี่	2.6
ตำแหน่งขากรรไกรที่ใส่เครื่องมือ	ขากรรไกรบน	75 ซี่	38.9
	ขากรรไกรล่าง	118 ซี่	61.1
ตำแหน่งด้านที่ใส่เครื่องมือ	ด้านซ้าย	104 ซี่	53.9
	ด้านขวา	59 ซี่	30.6
	ทั้งสองด้าน (bilateral)	30 ซี่	15.5
ลำดับของเครื่องมือกันที่	ชั้นที่ 1	185 ซี่	95.9
	ชั้นที่ 2*	8 ซี่	4.1

* หมายถึง เครื่องมือกันที่ชั้นใหม่ที่ทดแทนเครื่องมือเดิมที่ล้มเหลวหรือชำรุด

ตารางที่ 2 อัตราการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่ที่ติดตามในช่วงเวลาต่าง ๆ

Table 2 Survival rate of space maintainers according to follow-up period

ระยะเวลาการติดตามการคงอยู่ของเครื่องมือ (เดือน)	เครื่องมือกันที่ที่อยู่ภายใต้การติดตาม ^a จำนวน (ร้อยละ)	เครื่องมือกันที่ที่ล้มเหลว ^b จำนวน (ร้อยละ)	เครื่องมือกันที่ที่ยังคงอยู่ จำนวน (ร้อยละ)
6 - 12	41 (21.2)	4 (9.8)	37 (90.2)
12 - 24	80 (41.5)	20 (25.0)	60 (75.0)
24 - 36	42 (21.8)	8 (19.0)	34 (81.0)
36 - 48	24 (12.4)	3 (12.5)	21 (87.5)
48 - 60	6 (3.1)	0 (0.0)	6 (100.0)
รวม	193 (100.0)	35 (18.1)	158 (81.9)

^a หมายถึง ร้อยละเทียบกับจำนวนเครื่องมือทั้งหมด (n = 193) ^b หมายถึง ร้อยละเทียบกับจำนวนเครื่องมือที่อยู่ภายใต้การติดตามในช่วงเวลานั้น ๆ

จากการวิเคราะห์อัตราการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่ชนิดติดแน่น ด้วยวิธีแคแพลน-ไมเออร์ พบอัตราการคงอยู่โดยรวมร้อยละ 81.9 เมื่อพิจารณาจำแนกตามชนิดของเครื่องมือ พบว่าอัตราการคงอยู่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p=0.004$) โดยแนซแอปโพลแอนซีไม่พบความล้มเหลวตลอดระยะเวลาติดตาม 12 - 35 เดือน (อัตราการคงอยู่ร้อยละ 100.0) รองลงมาคือ แบนด์และลูบมีค่าเฉลี่ยการคงอยู่เท่ากับ 44.36 เดือน (อัตราการคงอยู่ร้อยละ 82.0) และลิงกวลโซลติงอาร์ช มีค่าเฉลี่ยการคงอยู่เท่ากับ 31.49 เดือน (อัตราการคงอยู่ร้อยละ 68.0) ตามลำดับ [รูปที่ 1(a)]

นอกจากนี้ การเปรียบเทียบปัจจัยที่มีผลต่ออัตราการคงอยู่ด้วยสถิติทดสอบล็อก-แรนจ์ พบปัจจัยที่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังนี้

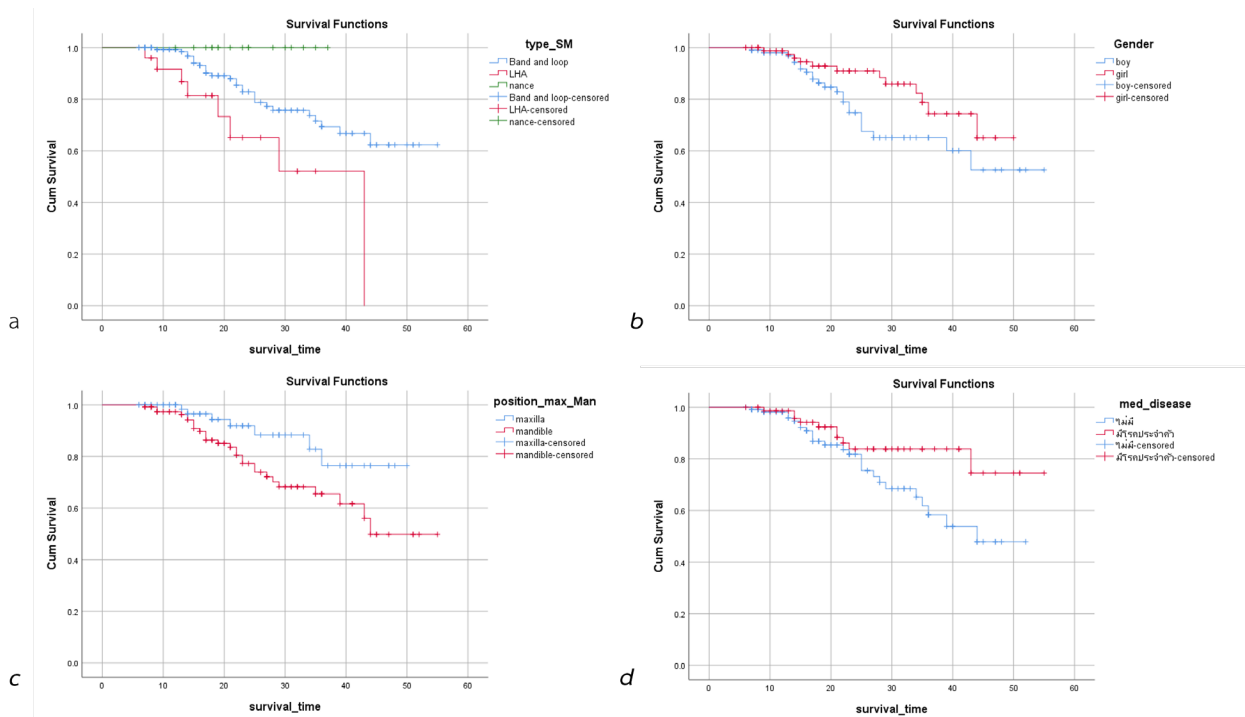
- เพศของผู้ป่วย พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

($p = 0.044$) โดยเพศชายมีค่าเฉลี่ยการคงอยู่ของเครื่องมือต่ำกว่าเพศหญิง [รูปที่ 1(b)]

- ตำแหน่งขากรรไกร พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.027$) โดยเครื่องมือที่ใส่ในขากรรไกรล่างมีค่าเฉลี่ยการคงอยู่ต่ำกว่าขากรรไกรบน [รูปที่ 1(c)]

- สภาวะโรคทางระบบของผู้ป่วย พบความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p = 0.038$) โดยผู้ป่วยที่ไม่มีโรคทางระบบมีค่าเฉลี่ยการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่ต่ำกว่าผู้ป่วยที่มีโรคทางระบบ [รูปที่ 1(d)]

ปัจจัยด้านอายุขณะเริ่มใส่เครื่องมือ ลำดับของเครื่องมือ (ชั้นที่ 1 หรือ 2) ชนิดและจำนวนของฟันน้ำนมที่สูญเสียก่อนกำหนด ชนิดของฟันที่ยึดแบนด์ และตำแหน่งด้านที่ใส่เครื่องมือ (ซ้ายหรือขวา) พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของอัตราการคงอยู่ของเครื่องมืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 3



รูปที่ 1 กราฟแคพแลน-ไมเออร์แสดงอัตราการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่ชนิดที่แน่นอนจำแนกตาม (a) ชนิดของเครื่องมือกันที่ (b) เพศของผู้ป่วย (c) ตำแหน่งของขากรรไกรที่ใส่เครื่องมือ (d) โรคทางระบบของผู้ป่วย

Figure 1 Kaplan-Meier curve of the survival rate of space maintainers depicted by (a) type of space maintainers, (b) gender, (c) appliance position, and (d) patient systemic disease

ตารางที่ 3 ผลการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่ชนิดที่แน่นอนตามปัจจัยต่าง ๆ

Table 3 Survival outcomes of fixed space maintainers according to related factors

ปัจจัย (Factors)		ค่าเฉลี่ยการคงอยู่ (mean survival time) (เดือน)	95 % ช่วงความเชื่อมั่น	ค่ากลางของการคงอยู่ (median survival time) (เดือน)	อัตราการคงอยู่ (ร้อยละ)	ค่า p
เพศ	หญิง	43.49	40.28–46.70	NA	86.7	0.044*
	ชาย	41.05	36.45–45.65	NA	77.7	
อายุขณะเริ่มใส่เครื่องมือ	< 80 เดือน	44.20	40.36–48.04	NA	77.2	0.803
	≥ 80 เดือน	40.99	35.84–46.14	43.00	86.1	
สถานะโรคทางระบบ	มี	47.94	43.91–51.97	NA	87.0	0.038*
	ไม่มี	39.33	35.48–43.18	44.00	78.4	
ชนิดของเครื่องมือกันที่	Band and loop	44.36	41.00–47.73	NA	82.0	0.004*
	Lingual holding arch	31.49	24.38–38.59	43.00	68.0	
	Nance appliance	NA	NA	NA	100.0	
	Overall	NA	NA	NA	81.9	
ลำดับของเครื่องมือกันที่	ชั้นที่ 1	43.33	40.12–46.55	NA	81.0	0.178
	ชั้นที่ 2 (ชั้นที่ทำใหม่)	NA	NA	NA	100.0	
ชนิดของฟันน้ำนมที่สูญเสียก่อนกำหนด	ฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 1	44.06	40.34–47.77	NA	80.2	0.759
	ฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 2	43.08	37.47–48.69	NA	87.0	
	ฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 1 และ 2	36.41	30.17–42.65	43.00	78.3	

ตารางที่ 3 ผลการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่ชนิดติดตั้งตามปัจจัยต่าง ๆ (ต่อ.)

Table 3 Survival outcomes of fixed space maintainers according to related factors (cont.)

ปัจจัย (Factors)		ค่าเฉลี่ยการคงอยู่ (mean survival time) (เดือน)	95 % ช่วง ความเชื่อมั่น	ค่ากลางของการคงอยู่ (median survival time) (เดือน)	อัตราการคงอยู่ (ร้อยละ)	ค่า <i>p</i>
ชนิดของฟันที่ ยึดแบนด์	ฟันน้ำนม	44.62	40.92–48.33	NA	81.1	0.434
	ฟันแท้	39.93	34.91–44.96	43.00	82.9	
จำนวนฟันน้ำนมที่ สูญเสียก่อนกำหนด	1 ซี่	44.73	41.44–48.00	NA	82.2	0.149
	2 ซี่	31.36	27.63–35.08	NA	88.9	
	3 ซี่	30.50	25.13–35.87	NA	77.8	
	4 ซี่	30.40	13.75–47.05	43.00	40.0	
ตำแหน่งขากรรไกรที่ ใส่เครื่องมือ	ขากรรไกรบน	44.65	41.04–48.27	NA	90.7	0.027*
	ขากรรไกรล่าง	41.31	37.29–45.34	44.00	76.3	
ตำแหน่งด้านที่ใส่ เครื่องมือ	ด้านขวา	39.92	35.61–44.22	NA	83.1	0.150
	ด้านซ้าย	45.29	41.39–49.19	NA	83.7	
	ทั้งสองด้าน	34.08	28.10–40.05	43.00	73.3	

* แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) โดยใช้การวิเคราะห์แคแฟลน-ไมเออร์ร่วมกับสถิติทดสอบล็อก-แรนจ์

NA: Not Available (ไม่สามารถคำนวณได้เนื่องจากไม่พบความล้มเหลวในช่วงเวลาที่ศึกษา หรืออัตราการคงอยู่สูงกว่าร้อยละ 50 ตลอดช่วงระยะเวลาการติดตามผล)

เมื่อทำการวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลต่อการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่ด้วยสถิติทดสอบตัวแบบถดถอยค็อกซ์เบื้องต้น (Univariate Cox regression analysis) ที่ระดับความเชื่อมั่น $p < 0.05$ พบว่า ปัจจัยด้านเพศ ($p = 0.049$) สภาวะโรคทางระบบของผู้ป่วย ($p = 0.043$) และตำแหน่งขากรรไกรที่ใส่เครื่องมือ ($p = 0.033$) มีผลต่อการคงอยู่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

สำหรับการวิเคราะห์แบบพหุปัจจัย (Multivariate Cox regression analysis) โดยนำปัจจัยที่มีค่า $p < 0.2$ เข้าทดสอบในตัวแบบ ได้แก่ เพศ สภาวะโรคทางระบบ จำนวนฟันน้ำนมที่สูญเสียก่อนกำหนด ตำแหน่งขากรรไกรที่ใส่เครื่องมือ พบปัจจัยเสี่ยงอิสระ (independent risk factors) 3 ปัจจัยที่มีนัยสำคัญทางสถิติ ($p < 0.05$) ดังแสดงในตารางที่ 4 และสรุปได้ดังนี้

- สภาวะโรคทางระบบของผู้ป่วย พบว่าผู้ป่วยที่ไม่มีโรคทางระบบมีความเสี่ยงต่อความล้มเหลวของเครื่องมือมากกว่าผู้ป่วยที่มีโรคทางระบบ 2.33 เท่า (adjusted HR = 2.33; 95% CI = 1.10–4.92; $p = 0.027$)

- จำนวนฟันน้ำนมที่สูญเสียก่อนกำหนด พบว่าการสูญเสียฟันน้ำนมมากกว่า 1 ซี่ มีความเสี่ยงต่อความล้มเหลวของเครื่องมือ

มากกว่าการสูญเสียฟันเพียง 1 ซี่ 2.33 เท่า (adjusted HR = 2.33; 95% CI = 1.05–5.19; $p = 0.038$)

- ตำแหน่งขากรรไกรที่ใส่เครื่องมือ พบว่าเครื่องมือที่ใส่ในขากรรไกรล่างมีความเสี่ยงต่อความล้มเหลวมากกว่าขากรรไกรบน 2.72 เท่า (adjusted HR = 2.72; 95% CI = 1.18–6.28; $p = 0.019$)

จากการติดตามผลพบเครื่องมือล้มเหลวทั้งหมด 35 ชิ้น (ร้อยละ 18.1) และเครื่องมือที่ยังคงอยู่ 158 ชิ้น (ร้อยละ 81.9) เมื่อพิจารณาตามชนิดของเครื่องมือ พบว่าลิงกวลโฮลดิ้งอาร์ชมีอัตราการความล้มเหลวสูงสุด (ร้อยละ 32.0) รองลงมา คือ แบนด์และลูป (ร้อยละ 18.0) สำหรับรูปแบบความล้มเหลวที่พบมากที่สุดคือ เครื่องมือหลุด (dislodgement) คิดเป็นร้อยละ 54.3 ของความล้มเหลวทั้งหมด เมื่อจำแนกตามชนิดเครื่องมือ พบว่าแบนด์และลูปล้มเหลวเนื่องจากเครื่องมือหลุดมากที่สุด (ร้อยละ 48.6) ในขณะที่ลิงกวลโฮลดิ้งอาร์ชพบความล้มเหลวจากการฉีกขาดหรือชำรุดมากที่สุด (ร้อยละ 14.3) ดังแสดงรายละเอียดในตารางที่ 5

ตารางที่ 4 การวิเคราะห์ตัวแปรถดถอยค็อกซ์แบบตัวแปรเดียวและทวิแปรเพื่อหาปัจจัยที่สัมพันธ์กับความล้มเหลวของเครื่องมือกัมที่

Table 4 Univariate and multivariate Cox regression analysis for factors associated with appliance failure

ปัจจัย	จำนวน (N)	ล้มเหลว		การวิเคราะห์ตัวแปรเดียว		การวิเคราะห์ทวิแปร		ค่า p
		จำนวน (ร้อยละ)	จำนวน (ร้อยละ)	HR (แบบปรับตัวแปร)	ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95	HR (แบบปรับตัวแปร)	ช่วงความเชื่อมั่นร้อยละ 95	
เพศ	หญิง	90	12 (13.3)	1		1		
	ชาย	103	23 (22.3)	2.02	1.00-4.07	1.91	0.94-3.85	0.072
โรคทางระบบ	มี	77	10 (13.0)	1		1		
	ไม่มี	116	25 (21.6)	2.13	1.02-4.45	2.33	1.10-4.92	0.027*
อายุที่ใส่เครื่องมือ	< 80 เดือน	92	21 (22.8)	1				
	≥ 80 เดือน	101	14 (13.9)	1.13	0.57-2.27			0.724
ชนิดของเครื่องมือ	Unilateral							
	(Band and Loop)	150	27 (18.0)	1				
กัมที่	Bilateral (Lingual Holding Arch,	43	8 (18.6)	1.31	0.59-2.93			0.508
	Nance appliance)							
ชนิดของฟันน้ำนมที่สูญเสียก่อนกำหนด	ฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 1	116	23 (19.8)	1				
	ฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 2	54	7 (13.0)	0.93	0.40-2.18			0.865
	ฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 1 และ 2	23	5 (21.7)	1.39	0.52-3.69			0.508
ลำดับของเครื่องมือ	ชั้นที่ 1	184	35 (19.0)	1				
	ชั้นที่ 2 (ชั้นที่ทำใหม่)	8	0 (0.0)	0.05	0-43.31			0.378
จำนวนฟันน้ำนมที่สูญเสียก่อนกำหนด	1 ซี่	150	26 (17.3)	1		1		
	>1 ซี่	43	9 (20.9)	1.76	0.81-3.81	2.33	1.05-5.19	0.038*
ตำแหน่งขากรรไกรที่ใส่เครื่องมือ	ขากรรไกรบน	75	7 (9.3)	1				
	ขากรรไกรล่าง	118	28 (23.7)	2.46	1.08-5.64	2.72	1.18-6.28	0.019*
ตำแหน่งด้านที่ใส่เครื่องมือ	ด้านขวา	59	10 (16.9)	1				
	ด้านซ้าย	104	17 (16.3)	0.85	0.39-1.86			0.682
	ทั้งสองด้าน	30	8 (26.7)	1.93	0.76-4.93			0.170

* มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับ 0.05; HR: Hazard Ratio โดยใช้สถิติตัวแปรถดถอยค็อกซ์ และกลุ่มที่มีค่า HR = 1 หมายถึง กลุ่มอ้างอิงใช้ในการเปรียบเทียบ

Table 5 Failure characteristics according to type of space maintainers

ชนิดของเครื่องมือกันที่	ความล้มเหลวของเครื่องมือกันที่			รวมจำนวน (ร้อยละ)
	เครื่องมือกดเนื้อเยื่ออ่อน จำนวน (ร้อยละ)	เครื่องมือหลุด จำนวน (ร้อยละ)	เครื่องมือฉีกขาดหรือชำรุด จำนวน (ร้อยละ)	
Band and loop	6 (17.1)	17 (48.6)	4 (11.4)	27 (77.1)
Lingual holding arch	1 (2.9)	2 (5.7)	5 (14.3)	8 (22.9)
Nance appliance	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)	0 (0.0)
รวม (Overall)	7 (20.0)	19 (54.3)	9 (25.7)	35 (100.0)

บทวิจารณ์

การศึกษาย้อนหลังครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินอัตราการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่ชนิดติดตั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แบนด์และลูป ลิงกวลโฮลดิ้งอาร์ช และแนชแอปไฟลแอนซ์ ซึ่งเป็นเครื่องมือที่ใช้เป็นส่วนใหญ่ในงานทันตกรรมสำหรับเด็ก ผลการศึกษาพบอัตราการคงอยู่โดยรวมของเครื่องมือกันที่เท่ากับร้อยละ 81.9 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์สูงเมื่อเทียบกับรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้^{5,6,8-10} เมื่อพิจารณาตามชนิดของเครื่องมือ พบว่าเครื่องมือแต่ละชนิดในการศึกษานี้มีค่าเฉลี่ยการคงอยู่ (mean survival time) ที่สูงกว่าการศึกษาที่ผ่านมา ซึ่งมีรายงานไว้ในช่วง 11.2–18.0 เดือน⁸⁻¹⁰ โดยเมื่อเปรียบเทียบกับรายชนิดของเครื่องมือ พบว่าค่าเฉลี่ยการคงอยู่ของแบนด์และลูปอยู่ที่ 13.5–26.5 เดือน ส่วนแนชแอปไฟลแอนซ์ 22.7–26.0 เดือน และลิงกวลโฮลดิ้งอาร์ช 12.6–27.0 เดือน⁸⁻¹⁰ แต่จากการศึกษาครั้งนี้ พบว่าแบนด์และลูปมีค่าเฉลี่ยการคงอยู่เท่ากับ 44.36 เดือน และลิงกวลโฮลดิ้งอาร์ชเท่ากับ 31.49 เดือน นอกจากนี้ เมื่อพิจารณาค่ากลางของการคงอยู่ (median survival time) ของลิงกวลโฮลดิ้งอาร์ชพบว่าเท่ากับ 43.00 เดือน ซึ่งสูงกว่าบางการศึกษาที่มีรายงานอยู่ที่ 4 เดือน⁵ ส่วนแบนด์และลูปและแนชแอปไฟลแอนซ์ไม่สามารถคำนวณหาค่ากลางของการคงอยู่ได้ เนื่องจากมีอัตราการคงอยู่สูงกว่าร้อยละ 50 ตลอดช่วงระยะเวลาการติดตามผล สำหรับเครื่องมือลิงกวลโฮลดิ้งอาร์ชที่พบว่าค่ากลางมีค่าสูงกว่าค่าเฉลี่ยการคงอยู่อย่างชัดเจนนั้น ลักษณะการกระจายของข้อมูลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า แม้จะมีเครื่องมือบางส่วนเกิดความล้มเหลวในช่วงต้นของการศึกษาจนส่งผลให้ค่าเฉลี่ยลดลง แต่เครื่องมือส่วนใหญ่มากกว่าร้อยละ 50 ยังคงสภาพและทำหน้าที่ในช่องปากได้ยาวนานเพียงพอต่อระยะเวลาการรักษาทางคลินิก นอกจากนี้ อัตราการคงอยู่ของแบนด์และลูปในการศึกษานี้ยังสอดคล้องกับการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบที่รายงานอัตราการคงอยู่ที่ร้อยละ 80 ณ ระยะเวลาติดตาม 18 เดือน¹¹ ข้อมูลที่มีการกระจายตัวตลอดช่วงการติดตามที่ยาวนาน แสดงให้เห็นถึงความเชื่อถือได้ทางคลินิกของเครื่องมือชนิดนี้ อย่างไรก็ตาม

แนชแอปไฟลแอนซ์ที่พบอัตราการคงอยู่สูงถึงร้อยละ 100.0 ในช่วงระยะติดตาม 12–35 เดือน ซึ่งอาจเป็นผลมาจากจำนวนกลุ่มตัวอย่างที่น้อยและระยะเวลาการเริ่มติดตามผลที่ค่อนข้างสั้นเมื่อเทียบกับเครื่องมือชนิดอื่น จึงส่งผลให้มีข้อจำกัดในการเปรียบเทียบทางสถิติ ซึ่งหากมีการขยายระยะเวลาการศึกษาหรือเพิ่มจำนวนกลุ่มตัวอย่าง อาจพบโอกาสในการเกิดความล้มเหลวของเครื่องมือได้ในอนาคต

แม้การศึกษานี้จะพบว่าอัตราการคงอยู่ของเครื่องมือทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ แบนด์และลูป ลิงกวลโฮลดิ้งอาร์ช และแนชแอปไฟลแอนซ์ ไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่เมื่อพิจารณาข้อมูลพบว่าแบนด์และลูปและแนชแอปไฟลแอนซ์มีอัตราการคงอยู่สูงกว่าลิงกวลโฮลดิ้งอาร์ช ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมา^{9,10,12} อย่างไรก็ตาม เครื่องมือกันที่แต่ละชนิดมีข้อบ่งชี้ทางคลินิกและลักษณะการใช้งานที่แตกต่างกัน ดังนั้น ผลการศึกษาที่แสดงถึงอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าของเครื่องมือชนิดใดชนิดหนึ่ง จึงไม่ได้หมายความว่าเครื่องมือดังกล่าวจะสามารถนำมาใช้ทดแทนเครื่องมือชนิดอื่นได้ในทุกบริบท ในทางปฏิบัติเมื่อมีความจำเป็นต้องเลือกใช้ลิงกวลโฮลดิ้งอาร์ช ซึ่งแม้จะมีอัตราการคงอยู่ต่ำกว่าเครื่องมือชนิดอื่นในการศึกษานี้ แต่เป็นเครื่องมือหลักที่มีข้อบ่งชี้เฉพาะสำหรับการคงสภาพช่องว่างหลังการสูญเสียฟันกรามน้ำนมหลายซี่ในขากรรไกรล่าง เมื่อมีข้อจำกัดของทางเลือกของเครื่องมือ ทันตแพทย์จึงควรให้ความสำคัญและเข้มงวดกับการจัดการปัจจัยเสี่ยงอื่น ๆ ที่ควบคุมได้แทน เช่น การควบคุมความชื้นอย่างสมบูรณ์ในขั้นตอนการยึดด้วยซีเมนต์ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการยึดติดและอัตราการคงอยู่ของเครื่องมือ นอกจากนี้เมื่อจำแนกตามลักษณะการใส่เครื่องมือ คือ เครื่องมือชนิดข้างเดียว (unilateral appliance) ได้แก่ แบนด์และลูป และเครื่องมือชนิดสองข้าง (bilateral appliance) ได้แก่ ลิงกวลโฮลดิ้งอาร์ช และแนชแอปไฟลแอนซ์ แม้ว่าเครื่องมือกันที่ชนิดข้างเดียวจะมีอัตราการคงอยู่มากกว่าชนิดสองข้าง แต่ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ทางสถิติ ซึ่งผลการศึกษานี้ขัดแย้งกับรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้ พบว่าเครื่องมือชนิดข้างเดียวมีอัตราการคงอยู่สูงกว่าชนิดสองข้างถึง 2 เท่า โดยสมมติฐานเดิมเชื่อว่าเครื่องมือชนิดสองข้างต้องรับแรงจากการบดเคี้ยวในปริมาณที่มากกว่าเครื่องมือชนิดข้างเดียว ส่งผลให้เกิดความล้มเหลวได้ง่ายกว่า⁵

รูปแบบความล้มเหลวที่พบมากที่สุดในการศึกษานี้ คือ เครื่องมือกันที่หลุด ซึ่งสูงถึงร้อยละ 54.3 โดยพบมากที่สุดในเครื่องมือชนิดแบนด์และลูบ สอดคล้องกับรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้ที่มีช่วงความล้มเหลวจากสาเหตุเดียวกันอยู่ที่ร้อยละ 22.4-82.0^{5,7,8,13} อย่างไรก็ตาม อัตราความล้มเหลวที่ค่อนข้างสูงสะท้อนให้เห็นว่าการหลุดของเครื่องมือเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่ออัตราการคงอยู่ สาเหตุหลักของการหลุดเกิดจากการสูญเสียการยึดติดของซีเมนต์บริเวณแบนด์^{5,14} ซึ่งมีปัจจัยเกี่ยวข้องหลายประการ ในด้านกายวิภาคของฟันน้ำนมที่มีส่วนคอดบริเวณคอฟันและมีบริเวณสัมผัส (contact area) ที่แบนและกว้างกับฟันซี่ข้างเคียง ส่งผลให้ความแนบสนิทระหว่างแบนด์กับตัวฟันลดลง อาจทำให้เกิดช่องว่างนำไปสู่การสะสมคราบจุลินทรีย์ โดยเฉพาะบริเวณที่ใกล้กับขอบเหงือก ซึ่งทำความสะอาดได้ยาก คราบจุลินทรีย์เหล่านี้ จะผลิตกรดที่ทำลายทั้งเนื้อฟันและซีเมนต์ ส่งผลให้เกิดรอยผุใต้เครื่องมือและการอักเสบของเหงือก จึงทำให้เกิดการสูญเสียซีเมนต์บริเวณยึดติดและเครื่องมือกันที่หลุดตามมาในที่สุด นอกจากนี้สภาวะอนามัยช่องปากที่ไม่ดียังเป็นปัจจัยเสริมที่ทำให้การสะสมคราบจุลินทรีย์รุนแรงขึ้นได้¹⁵⁻¹⁷

นอกเหนือจากปัจจัยด้านสภาวะอนามัยช่องปาก คุณสมบัติทางกลของวัสดุยึดติดในด้านความแข็งแรงทนต่อแรงบดเคี้ยวของซีเมนต์ยังเป็นอีกหนึ่งปัจจัยสำคัญที่มีอิทธิพลต่อการคงอยู่¹⁸ โดยแรงยึดติดของวัสดุบนผิวเคลือบฟันน้ำมน้อยกว่าฟันแท้ เนื่องจากเคลือบฟันน้ำนมมีการเรียงตัวของแท่งเคลือบฟัน (enamel rod) ที่เป็นระเบียบน้อยกว่า จึงทำให้ประสิทธิภาพในการยึดกับซีเมนต์ลดลงเมื่อเทียบกับฟันแท้¹³⁻¹⁹ แม้ว่าในการศึกษานี้จะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่างชนิดของฟันที่ใช้ยึดแบนด์ แต่ข้อมูลเชิงปริมาณที่พบมีความสำคัญต่อการวิเคราะห์ เนื่องจากเครื่องมือที่ล้มเหลวส่วนใหญ่เป็นเครื่องมือที่แบนด์ยึดบนฟันน้ำนม (ร้อยละ 18.9) ซึ่งสูงกว่าแบนด์ยึดบนฟันแท้ (ร้อยละ 17.1) เมื่อพิจารณาลักษณะการเลือกใช้ฟันยึดแบนด์ตามชนิดของเครื่องมือ พบความแตกต่างอย่างชัดเจน ดังนี้ แบนด์และลูบ มีการยึดแบนด์บนฟันน้ำนมถึง 102 ชิ้น เทียบกับการยึดบนฟันแท้เพียง 48 ชิ้น ในขณะที่แนซแอปพลิเคชัน มีสัดส่วนการยึดบนฟันน้ำนมและฟันแท้ในจำนวนที่เท่ากันคืออย่างละ 9 ชิ้น สำหรับลิงกิวลไฮลิดิงอาร์ช พบว่ามีการยึดแบนด์บนฟันแท้ทั้งหมด ข้อมูลเหล่านี้ช่วยสนับสนุนแนวคิดข้างต้นที่ว่า โครงสร้างเคลือบฟันน้ำนมที่มีความบางกว่าส่งผลให้แรงยึดติดของซีเมนต์อ่อนแอกว่าเมื่อเทียบกับฟันแท้ ดังนั้น

ทันตแพทย์จึงควรตระหนักและนำไปปัจจัยความเสี่ยงด้านโครงสร้างฟันนี้ มาพิจารณาร่วมด้วยในการวางแผนการรักษา เพื่อเพิ่มโอกาสความสำเร็จในระยะยาว

อย่างไรก็ตามการศึกษานี้มีข้อจำกัด เนื่องจากข้อมูลเวชระเบียนย้อนหลังไม่สมบูรณ์ในส่วนของเครื่องมือที่ยึดบนครอบฟันเหล็กไร้สนิม (stainless steel crown) ประเด็นนี้มีความสำคัญเนื่องจากการศึกษาก่อนหน้านี้พบว่าความแข็งแรงในการยึดแบนด์ด้วยกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์ (glass ionomer cement) บนครอบฟันเหล็กไร้สนิมมีค่าน้อยกว่าเมื่อเทียบกับฟันธรรมชาติ ซึ่งเป็นผลมาจากความแตกต่างของรูปร่างและพื้นผิวของครอบฟันเหล็กไร้สนิมที่มีความนูนน้อยกว่าฟันน้ำนม และมีพื้นผิวที่เรียกว่า ส่งผลให้เกิดแรงยึดอยู่เชิงกล (mechanical retention) และแรงตึงผิว (surface tension) ที่ต่ำกว่าเคลือบฟันธรรมชาติ²⁰ นอกจากนี้การศึกษานี้ไม่ได้เปรียบเทียบผลของชนิดซีเมนต์ที่ใช้ยึดเครื่องมือเนื่องจากการใช้วัสดุกลาสไอโอโนเมอร์ซีเมนต์เพียงชนิดเดียวตลอดงานวิจัย ซึ่งแม้จะมีข้อดีที่สามารถปลดปล่อยฟลูออไรด์ป้องกันฟันผุได้²¹ แต่ยังคงขาดข้อมูลการเปรียบเทียบกับซีเมนต์ชนิดอื่นที่อาจให้ประสิทธิภาพการยึดติดที่แตกต่างกัน โดยเฉพาะการยึดติดบนพื้นผิวโลหะ นอกจากปัจจัยด้านคุณสมบัติทางกลทั้งจากซีเมนต์และฟันที่ใช้ยึดซึ่งส่งผลต่อการหลุดของเครื่องมือแล้ว ปัจจัยด้านพฤติกรรมและความร่วมมือของเด็กขณะรับการรักษาเป็นอีกหนึ่งตัวแปรที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพการยึดติดของซีเมนต์ เนื่องจากความยากในการควบคุมความชื้นและการบ่นเปื้อนของเลือดและน้ำลาย โดยเฉพาะในเครื่องมือแบบสองข้างที่มีพื้นที่การทำงานซับซ้อนกว่าเครื่องมือชนิดข้างเดียว^{5,22} อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ไม่พบความแตกต่างของการยึดเครื่องมือชนิดข้างเดียวและสองข้าง อาจเนื่องจากการจัดการทางคลินิกที่มีประสิทธิภาพในการลดผลกระทบจากพฤติกรรมของผู้ป่วย สอดคล้องกับอายุของผู้ป่วยที่เริ่มใส่เครื่องมือ ซึ่งไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ⁵ นอกจากนี้ การรักษาส่วนใหญ่ของการศึกษานี้เป็นการรักษาทันตกรรมแบบปกติไม่ใช่ยา และมีเพียงกรณีเดียวที่ดำเนินการภายใต้การดมยาสลบ สำหรับกรณีเด็กเล็กที่ไม่ให้ความร่วมมือหรือเด็กที่มีความต้องการพิเศษบางรายได้มีการจัดการพฤติกรรมโดยใช้การควบคุมการเคลื่อนไหว (protective stabilization) ทั้งการให้ทันตบุคลากรหรือผู้ปกครองช่วยประคอง (active immobilization) หรือการใช้อุปกรณ์จำกัดการเคลื่อนไหว เช่น ผ้าห่อตัวเด็ก (papoose board) เพื่อความปลอดภัยและทำให้การรักษามีประสิทธิภาพ ซึ่งการใช้วิธีการจัดการพฤติกรรมอย่างสม่ำเสมอในกลุ่มเด็กเล็กที่ไม่ร่วมมือนี้อาจเป็นปัจจัยสำคัญที่ทำให้ความสำเร็จในการยึดเครื่องมือชนิดสองข้างไม่แตกต่างจากเครื่องมือชนิดข้างเดียว

อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้มีข้อจำกัด คือ ไม่ได้มีการเก็บข้อมูลพฤติกรรมเด็กขณะใส่เครื่องมือ เนื่องจากพฤติกรรมของเด็กมีการ

เปลี่ยนแปลงได้ตลอดช่วงระยะเวลาการรักษา ไม่ได้มีการสรุปเป็นพฤติกรรมเดียวอย่างเป็นมาตรฐาน ประกอบกับเป็นการศึกษาย้อนหลังที่ข้อมูลถูกบันทึกโดยทันตแพทย์หลายคน ซึ่งอาจมีความแตกต่างกันในรายละเอียดการบันทึก จึงส่งผลให้ขาดความน่าเชื่อถือระหว่างผู้ประเมิน (inter-rater reliability) ข้อมูลส่วนนี้จึงไม่สามารถนำมาวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติเพื่อหาข้อสรุปที่ชัดเจนได้ ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่ควรได้รับการปรับปรุงสำหรับการศึกษาเชิงพฤติกรรมต่อไป นอกจากนี้ พฤติกรรมการรับประทานอาหารที่มีความหวานและเหนียวยังเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลให้ซีเมนต์หลุดได้ง่าย แสดงให้เห็นว่าความสำเร็จของการใส่เครื่องมือกันที่ต่ออาศัยทั้งการจัดการพฤติกรรมที่มีประสิทธิภาพ ควบคู่ไปกับการส่งเสริมทันตกรรมป้องกันโดยการให้ทันตสุขศึกษาและคำแนะนำด้านโภชนาการที่เหมาะสมหลังการใส่เครื่องมือ²³⁻²⁵

สำหรับความล้มเหลวจากสาเหตุอื่นที่พบในการศึกษานี้ คือ การชำรุดหรือฉีกขาดของเครื่องมือ ซึ่งพบร้อยละ 25.7 สอดคล้องกับรายงานการศึกษาที่ผ่านมาที่พบในช่วงร้อยละ 10-27 โดยพบมากในเครื่องมือที่ใส่ในขากรรไกรล่าง โดยเฉพาะลิงกวลโฮลดิ้งอาร์ช^{5,9}

สำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยด้านตำแหน่งของขากรรไกร การศึกษานี้พบว่าความล้มเหลวของเครื่องมือที่ใส่ในขากรรไกรล่างมีอัตราสูงกว่าขากรรไกรบนอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาก่อนหน้านี้ที่พบว่าเครื่องมือชนิดสองข้างในขากรรไกรล่างมีอัตราการคงอยู่ต่ำกว่าเครื่องมือที่ใส่ในขากรรไกรบน⁶ โดยเฉพาะในกลุ่มลิงกวลโฮลดิ้งอาร์ชที่พบสาเหตุจากการชำรุดหรือฉีกขาดของเครื่องมือสูงถึงร้อยละ 14.3 ซึ่งสามารถอธิบายได้ด้วยปัจจัยเชิงกลศาสตร์ (biomechanical factor) เนื่องจากเครื่องมือที่ใส่ในขากรรไกรล่างมีส่วนของลวดที่ยาวเชื่อมกับแบนด์ เมื่อต้องรับแรงบิดเคี้ยวที่เพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดความเครียดและอาจส่งผลให้แบนด์ขาดบริเวณด้านแฉกได้⁹ แนวคิดนี้ยังสอดคล้องกับรายงานความล้มเหลวของเครื่องคงตำแหน่งที่ติดแน่นด้านลิ้น (lingual bonded retainer) ในขากรรไกรล่าง ซึ่งมีความสัมพันธ์กับแรงบิดเคี้ยวและความลึกของการสบฟัน (deep bite) ที่เพิ่มความเสี่ยงต่อความล้มเหลว²⁶ แม้บางการศึกษาจะพบความล้มเหลวของลิงกวลโฮลดิ้งอาร์ชมากกว่าแนชแอบไพลแอนซ์ แต่กลับไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ^{8,9} อย่างไรก็ตาม สาเหตุของความล้มเหลวในขากรรไกรล่างอาจไม่ได้เกิดจากปัจจัยเชิงกลศาสตร์เพียงอย่างเดียว แต่ยังมีปัจจัยทางคลินิกที่สำคัญ คือ การควบคุมความชื้นขณะยึดแบนด์ เนื่องจากขากรรไกรล่างอยู่ใกล้กับทางเปิดของต่อมน้ำลายใต้ลิ้น (sublingual gland) และต่อมน้ำลายใต้ขากรรไกรล่าง (submandibular gland) ทำให้การควบคุมน้ำลายเป็นไปได้ยากกว่าขากรรไกรบน การปนเปื้อนน้ำลายและเลือดจะส่งผลโดยตรงต่อความแข็งแรงในการยึดติดของซีเมนต์ นำไปสู่การรื้อซึมตามรอยต่อของวัสดุและผิวฟันได้²⁷ ซึ่งการควบคุมความชื้นขณะใส่เครื่อง

มือถือเป็นขั้นตอนที่ละเอียดอ่อนและต้องใช้เวลาในการปฏิบัติ โดยส่งผลกระทบต่อความสำเร็จของการคงอยู่ของเครื่องมือในระยะยาว²⁸

สำหรับปัจจัยด้านสภาวะโรคทางระบบ ในทางทันตกรรมสำหรับเด็กผู้ป่วยกลุ่มนี้จัดอยู่ในกลุ่มเด็กที่มีความต้องการพิเศษ (children with special health care needs) เนื่องจากมีข้อจำกัดทางด้านร่างกาย จิตใจ พัฒนาการ พฤติกรรม หรือที่เป็นข้อจำกัดในการใช้ชีวิตประจำวันและจำเป็นต้องได้รับการดูแลช่วยเหลือเป็นพิเศษ²⁹ แม้จะมีรายงานการศึกษาที่บ่งชี้ว่าผู้ป่วยกลุ่มนี้มีความเสี่ยงต่อการเกิดโรคในช่องปากเพิ่มขึ้น ทั้งโรคฟันผุที่ไม่ได้รับการรักษา ภาวะการสบฟันผิดปกติ รวมถึงโรคเหงือกอักเสบและปริทันต์อักเสบร่วมด้วย โดยเฉพาะในกลุ่มเด็กที่มีภาวะบกพร่องทางสติปัญญา (intellectual disability) ซึ่งส่งผลให้การดูแลสถานะอนามัยช่องปากทำได้ยากกว่าเด็กปกติ^{30,31} นอกจากนี้ยังมีข้อจำกัดด้านการเข้าถึงการรักษาทันตกรรมในแง่ของการเดินทางและการได้รับการส่งต่อทันตแพทย์เฉพาะทาง รวมถึงปัญหาพฤติกรรมความร่วมมือทั้งจากตัวผู้ป่วยและผู้ปกครองที่มีความกังวลต่อโรคทางระบบมากกว่าสภาวะอนามัยช่องปาก^{32,33} อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้กลับพบผลการรักษาที่น่าสนใจว่า อัตราคงอยู่ของเครื่องมือกันในผู้ป่วยที่มีโรคทางระบบมีความเสี่ยงต่อความล้มเหลวน้อยกว่าเด็กที่ไม่มีโรคทางระบบ สอดคล้องกับรายงานก่อนหน้านี้ที่พบว่าการออกแบบและคุณภาพของชิ้นงานส่งผลต่อความสำเร็จมากกว่าระดับพัฒนาการของผู้ป่วย⁵ ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากบริบทของสถาบันที่ทำการศึกษานี้ ซึ่งเป็นโรงพยาบาลที่มีลักษณะการดูแลผู้ป่วยกลุ่มโรคทางระบบอย่างเป็นระบบ ต่างจากการศึกษาอื่นที่ทำในมหาวิทยาลัยหรือคลินิกเอกชน โดยปกติผู้ป่วยเด็กที่มีโรคทางระบบกลุ่มนี้จำเป็นต้องได้รับการติดตามสุขภาพกายอย่างสม่ำเสมอ กลุ่มงานทันตกรรมจึงมีการนัดหมายติดตามเครื่องมือกันที่พร้อมกับการนัดหมายของแพทย์ เพื่ออำนวยความสะดวก และลดภาระของผู้ปกครองทั้งทรัพยากรเวลาและค่าใช้จ่าย ผลจากระบบการนัดติดตามอย่างต่อเนื่องนี้ส่งผลให้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับเครื่องมือได้รับการตรวจพบและแก้ไขตั้งแต่ระยะเริ่มต้น จึงช่วยป้องกันความล้มเหลวที่รุนแรงได้ นอกจากนี้ ผู้ปกครองของเด็กกลุ่มนี้จะมีความตระหนักถึงความสำคัญและเฝ้าระวังดูแลสุขภาพช่องปาก ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของการดูแลสุขภาพโดยรวม จึงให้ความร่วมมือในการมาติดตามนัดหมายอย่างสม่ำเสมอ จากการศึกษาที่พบผู้ป่วยที่ไม่ได้มาติดตามหลังใส่เครื่องมือเพียงร้อยละ 7.4 ซึ่งถือว่าอยู่ในเกณฑ์ต่ำเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาอื่น ๆ ที่พบตั้งแต่ร้อยละ 2-53^{5,6,9,10} ทั้งนี้รายงานก่อนหน้านี้ได้แนะนำความถี่ที่เหมาะสมในการกลับมาติดตามเครื่องมือกันที่ชนิดสองข้างและชนิดข้างเดียวไว้ที่ทุก 2 เดือน และ 4 เดือน ตามลำดับ⁶ เมื่อพิจารณาประกอบกันแล้ว จึงสรุปได้ว่า ความเสี่ยงต่อความล้มเหลวที่น้อยกว่าในผู้ป่วยที่มีโรคทางระบบ เป็นผลมาจากพฤติกรรมมาติดตามผลและการดูแลสภาวะอนามัย

ช่องปากที่ดี ภายใต้ระบบการดูแลส่งเสริมสุขภาพของโรงพยาบาลอย่างต่อเนื่อง

ผลการศึกษานี้ถือเป็นข้อสังเกตที่สำคัญ ซึ่งช่วยสร้างความมั่นใจให้แก่ทันตแพทย์ในการตัดสินใจวางแผนการรักษาด้วยเครื่องมือกันที่ชนิดติดแน่นแก่ผู้ป่วยเด็กที่มีความต้องการพิเศษ โดยทั่วไปทันตแพทย์อาจมีความลังเลในการใส่เครื่องมือในเด็กกลุ่มนี้ เนื่องจากกังวลเรื่องความร่วมมือของผู้ป่วยและโอกาสเกิดความล้มเหลวทางคลินิก อย่างไรก็ตาม ผลลัพธ์จากการศึกษาในสถาบันที่มีระบบการติดตามสุขภาพร่างกายร่วมด้วยแสดงให้เห็นว่าเมื่อมีการจัดการแบบองค์รวมและผู้ปกครองมีความตระหนักรู้สูง การใส่เครื่องมือกันที่ชนิดติดแน่นสามารถทำได้ ดังนั้นการมีโรคทางระบบไม่ได้เป็นข้อจำกัดหลักในการใส่เครื่องมือกันที่ แต่ควรพิจารณาถึงศักยภาพของระบบการติดตามดูแลแบบสหสาขาวิชาชีพของสถานพยาบาลร่วมด้วย เนื่องจากมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งในการช่วยลดปัจจัยเสี่ยงและป้องกันความล้มเหลวของเครื่องมือที่จะตามมาในระยะยาว

แม้การศึกษานี้จะไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติของชนิดฟันน้ำนมที่สูญเสียก่อนกำหนด ระหว่างฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 1 และซี่ที่ 2 อย่างไรก็ตาม มีรายงานสนับสนุนว่าฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 1 มีความเสี่ยงต่อการสูญเสียเร็วกว่า เนื่องจากเป็นฟันที่ขึ้นมาในช่องปากก่อน จึงมีระยะเวลาสัมผัสปัจจัยเสี่ยงต่อการเกิดโรคฟันผุนานกว่า ประกอบกับมีเคลือบฟันที่บางกว่าฟันกรามน้ำนมซี่ที่ 2 ส่งผลให้รอยโรคเข้าสู่โพรงเนื้อเยื่อในได้รวดเร็วกว่า³⁴ จากการศึกษาพบว่าจำนวนของฟันน้ำนมที่ถูกถอนมากกว่า 1 ซี่ มีความเสี่ยงต่อความล้มเหลวของเครื่องมือสูงกว่าการถอน 1 ซี่อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่ในทางกลับกันกลับไม่พบความแตกต่างของอัตราการคงอยู่ระหว่างเครื่องมือชนิดข้างเดียวและชนิดสองข้าง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าชนิดของเครื่องมืออาจไม่ใช่ปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อการคงอยู่ แต่ปัจจัยที่มีอิทธิพลอย่างแท้จริง คือ ลักษณะทางคลินิกที่สัมพันธ์กับการสูญเสียฟันหลายซี่ เนื่องจากผู้ป่วยกลุ่มนี้จำเป็นต้องได้รับการใส่เครื่องมือชนิดสองข้าง ได้แก่ ลิงกัวลิสตอลดิ้งอาร์ช หรือแนซซ์ แอปไพเคชัน ซึ่งมีความซับซ้อนในการดูแลรักษาความสะอาดและการควบคุมความชื้นขณะยึดแบบดมากกว่าเครื่องมือกันที่แบบข้างเดียว^{10,13} อย่างไรก็ตาม การควบคุมปัจจัยทางคลินิกอย่างเข้มงวดในขั้นตอนการยึดติดของซีเมนต์อย่างมีประสิทธิภาพ สามารถช่วยลดผลกระทบจากความซับซ้อนของเครื่องมือได้ และส่งผลให้อัตราการคงอยู่ของเครื่องมือชนิดสองข้างไม่แตกต่างจากเครื่องมือชนิดข้างเดียวในทางสถิติ ข้อสรุปนี้จึงเน้นว่าการจัดการความเสี่ยงต่อความล้มเหลวที่แท้จริงขึ้นอยู่กับการควบคุมปัจจัยทางคลินิกโดยทันตแพทย์เป็นสำคัญ นอกจากนี้การสูญเสียฟันหลายซี่ยังมีความสัมพันธ์กับสภาวะอนามัยช่องปากที่ไม่ดี^{35,36} ซึ่งการสะสมของคราบจุลินทรีย์และการเกิดสภาวะกรดอาจส่งผลต่อลดความแข็งแรงใน

การยึดติดของซีเมนต์ และนำไปสู่ความล้มเหลวได้ในที่สุด ดังนั้นการนำผลการศึกษานี้ไปปรับใช้ในทางคลินิก ทันตแพทย์จึงควรตระหนักว่าในกรณีที่ต้องใส่เครื่องมือทดแทนการสูญเสียฟันมากกว่า 1 ซี่ ควรจัดการปัจจัยเสี่ยงร่วมที่สามารถควบคุมได้แทน เพื่อเพิ่มอัตราการคงอยู่ของเครื่องมือ โดยการเพิ่มความเข้มงวดในขั้นตอนการยึดติดซีเมนต์ และจัดให้ผู้ป่วยกลุ่มนี้มีความเสี่ยงสูงที่ต้องได้รับการให้ทันตสุขศึกษาอย่างเข้มข้น รวมถึงการนัดหมายติดตามผลอย่างใกล้ชิด

สำหรับการวิเคราะห์ปัจจัยอื่น ๆ ได้แก่ เพศของผู้ป่วย อายุขณะเริ่มใส่เครื่องมือ และตำแหน่งด้านซ้ายหรือขวาที่ใส่เครื่องมือ การศึกษานี้ไม่พบความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้^{5,19} แม้ว่าบางรายงานจะพบว่าเครื่องมือที่ใส่ทางด้านซ้ายมีอัตราการคงอยู่สูงกว่าด้านขวาอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ โดยมีการสันนิษฐานว่าอาจเกี่ยวข้องกับความถนัดของทันตแพทย์ในการเข้าปฏิบัติงานและการควบคุมความชื้นในช่องปากด้านซ้ายที่ได้สะดวกกว่า หรือพฤติกรรมความถนัดในการเคี้ยวของผู้ป่วยเด็กที่ถนัดเคี้ยวทางด้านขวามากกว่า^{5,14} อย่างไรก็ตาม ปัจจัยเหล่านี้ยังไม่มีข้อสรุปทางคลินิกที่ชัดเจนและจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

การศึกษานี้มีข้อจำกัดที่สำคัญประการแรกคือ เป็นการศึกษาย้อนหลังในผู้ป่วยเด็กจากสถาบันเพียงแห่งเดียว ซึ่งอาจส่งผลต่อการนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ในประชากรทั่วไป ประกอบกับข้อมูลจากเวชระเบียนในบางส่วนอาจไม่ครบถ้วนสมบูรณ์ นอกจากนี้ช่วงเวลาที่ทำการศึกษตรงกับสถานการณ์การแพร่ระบาดของโควิด-19 (COVID-19) ซึ่งส่งผลให้ข้อมูลการติดตามผลในผู้ป่วยบางรายขาดความต่อเนื่อง และขนาดกลุ่มตัวอย่างในเครื่องมือกันที่บางชนิดมีจำนวนน้อย ทำให้มีข้อจำกัดในการวิเคราะห์เปรียบเทียบทางสถิติ ดังนั้น ข้อเสนอแนะสำหรับการศึกษารุ่นต่อไป ควรมีการดำเนินการวิจัยแบบไปข้างหน้า เพื่อให้สามารถเก็บบันทึกข้อมูลเชิงลึกที่เป็นมาตรฐานสากล โดยเฉพาะปัจจัยด้านพฤติกรรมความร่วมมือและสภาวะอนามัยช่องปากของเด็ก ความสามารถในการดูแลสุขภาพช่องปากของผู้ปกครองหรือผู้ดูแล และความถี่ในการกลับมาติดตามหลังใส่เครื่องมือ นอกจากนี้ การขยายช่วงเวลาการติดตามการคงอยู่ให้ยาวนานขึ้น อาจทำให้พบความล้มเหลวของเครื่องมือได้ครอบคลุมยิ่งขึ้น และควรมีการศึกษาเพิ่มเติมถึงประสิทธิภาพของเครื่องมือกันที่ในด้านการคงสภาพช่องว่างร่วมด้วย เพื่อให้สามารถประเมินผลการรักษาได้อย่างครบถ้วนทั้งในด้านอายุการใช้งานและประสิทธิภาพทางคลินิกอย่างสมบูรณ์

โดยสรุป ความล้มเหลวของเครื่องมือกันที่ชนิดติดแน่นในการศึกษานี้มีปัจจัยเสี่ยงหลักคือ ตำแหน่งขากรรไกรล่าง และการสูญเสียฟันน้ำนมมากกว่า 1 ซี่ ซึ่งบ่งชี้ว่าควรให้ความสำคัญอย่างยิ่งต่อขั้นตอนการยึดติดของซีเมนต์ทางคลินิก อย่างไรก็ตาม

ผลการศึกษาซึ่งพบว่าผู้ป่วยเด็กที่มีโรคทางระบบมีความเสี่ยงต่อความล้มเหลวต่ำกว่าเด็กปกติ สะท้อนให้เห็นถึงประสิทธิภาพของการติดตามผลอย่างสม่ำเสมอภายใต้ระบบการดูแลสุขภาพแบบองค์รวม ดังนั้น ในการวางแผนการรักษาด้วยเครื่องมือกันที่ทันตแพทย์จึงควรพิจารณาโดยรวมทั้งปัจจัยด้านสุขภาพช่องปาก ร่วมกับสถานะโรคทางระบบของผู้ป่วย เพื่อเพิ่มอัตราความสำเร็จและประสิทธิภาพการคงอยู่ของเครื่องมือในระยะยาว ผลของการศึกษานี้ทำให้ทราบถึงปัจจัยเสี่ยงอิสระที่แท้จริงที่ควรนำมาพิจารณาประกอบทั้งในการวางแผนการรักษาและการติดตามผลอย่างต่อเนื่องต่อไป

บทสรุป

1. อัตราการคงอยู่ของเครื่องมือกันที่ชนิดติดแน่นทั้ง 3 ชนิดเมื่อสิ้นสุดระยะเวลาการติดตามผล 60 เดือน พบว่า แนนซ์แอปไพลแอนซ์มีอัตราการคงอยู่สูงสุด (ร้อยละ 100.0) รองลงมาคือ แบนด์และลูบ (ร้อยละ 82.0) และลิงกวลไฮโดรดีนเจอร์ซ (ร้อยละ 68.0) ตามลำดับ
2. ปัจจัยที่มีผลต่อการคงอยู่ของเครื่องมืออย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ได้แก่ ตำแหน่งขากรรไกรที่ใส่เครื่องมือ จำนวนฟันน้ำนมที่ถูกถอนก่อนกำหนด และสถานะโรคทางระบบของผู้ป่วย
3. รูปแบบความล้มเหลวที่พบมากที่สุดคือ เครื่องมือหลุดเนื่องจากสูญเสียการยึดติดของซีเมนต์ รองลงมาคือ การชำรุดหรือฉีกขาดของเครื่องมือ

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ทันตแพทย์หญิง ดร.สรนันท์ จันทรางศุ อาจารย์ประจำภาควิชาทันตพยาธิวิทยา คณะทันตแพทยศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาด้านสถิติ และเจ้าหน้าที่กลุ่มงานทันตกรรมและเวชระเบียน สถาบันสุขภาพเด็กแห่งชาติมหาราชินี ที่กรุณาอำนวยความสะดวกในการเก็บข้อมูลวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

1. Ngan P, Alkire RG, Fields H. Management of space problems in the primary and mixed dentitions. *J Am Dent Assoc* 1999;130(9):1330-9.
2. Padma Kumari B, Retnakumari N. Loss of space and changes in the dental arch after premature loss of the lower primary molar: a longitudinal study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 2006;24(2):90-6.
3. Albati M, Showlag R, Akili A, Hanafiyah H, AlNashri H, Aladwani W, et al. Space maintainers application, indication and complications. *Int J Community Med Public Health* 2018;5(11):4970-4.
4. Patidar D, Sogi S, Patidar DC. Oral Health Status of Children with Special Healthcare Need: A Retrospective Analysis. *Int J Clin Pediatr Dent* 2022;15(4):433-7.

5. Qudeimat MA, Fayle SA. The longevity of space maintainers: a retrospective study. *Pediatr Dent* 1998;20(4):267-72.
6. Rajab LD. Clinical performance and survival of space maintainers: evaluation over a period of 5 years. *ASDC J Dent Child* 2002;69(2):156-60.
7. Sasa IS, Hasan AA, Qudeimat MA. Longevity of band and loop space maintainers using glass ionomer cement: a prospective study. *Eur Arch Paediatr Dent* 2009;10(1):6-10.
8. Fathian M, Kennedy DB, Nouri MR. Laboratory-made space maintainers: a 7-year retrospective study from private pediatric dental practice. *Pediatr Dent* 2007;29(6):500-6.
9. Moore TR, Kennedy DB. Bilateral space maintainers: a 7-year retrospective study from private practice. *Pediatr Dent* 2006;28(6):499-505.
10. Ozudogru S, Tosun G. Survival and clinical evaluation of various space maintainers used for early primary tooth loss. *Int Dent Res* 2021;11(Suppl. 1):222-7.
11. Arbildo Vega H, Cantu-Oliva J, Chumpitaz-Durand R, Agüero Alva J, Rendon Alvarado A, Vásquez-Rodrigo H. Survival rate of fixed space maintainers used in Dentistry. Systematic review and Meta-analysis. *J oral res* 2021;10:1-10.
12. Baroni C, Franchini A, Rimondini L. Survival of different types of space maintainers. *Pediatr Dent* 1994;16(5):360-1.
13. Casaña-Ruiz M, Aura-Tormos JI, Marques-Martinez L, Garcia-Miralles E, Perez-Bermejo M. Effectiveness of Space Maintainers in Pediatric Patients: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Dent J (Basel)* 2025;13(1):32.
14. Qudeimat MA, Sasa IS. Clinical success and longevity of band and loop compared to crown and loop space maintainers. *Eur Arch Paediatr Dent* 2015;16(5):391-6.
15. Arikan F, Eronat N, Candan Ü, lu HB. Periodontal Conditions Associated with Space Maintainers Following Two Different Dental Health Education Techniques. *J Clin Pediatr Dent* 2007;31(4):229-34.
16. Tanyeri Gürcan AT, Koruyucu M, Kuru Kaygun S, Sepet E, Seymen F. Effects of Fixed and Removable Space Maintainers on Dental Plaque and DMFT/dft Values. *Odovtos-Int J Dent Sc* 2021;23(2):137-47
17. Laing E, Ashley P, Naini FB, Gill DS. Space maintenance. *Int J Paediatr Dent* 2009;19(3):155-62.
18. Kaur J, Singh A, Sadana G, Mehra M, Mahajan M. Evaluation of Shear Peel Bond Strength of Different Adhesive Cements Used for Fixed Space Maintainer Cementation: An *In Vitro* Study. *Int J Clin Pediatr Dent* 2021;14(2):175-9.
19. Hemdan ME, El Kalla IHH, El Agamy RA. Clinical Evaluation of Different Designs of Fixed Space Maintainer: A Randomized Clinical Trial. *Int J Clin Pediatr Dent* 2024;17(4):442-50.
20. Bawazir O, Alshamrani H, Salama M, Salama F. Bond Strength of Molar Bands to Stainless Steel Crown. *J Dent Child* 2015;82(2):64-9.
21. Aguiar D, Ritter D, Rocha R, Locks A, Borgatto A. Evaluation of mechanical properties of five cements for orthodontic band cementation. *Braz Oral Res* 2013;27:136-41

22. Shimazu K, Karibe H, Ogata K. Effect of artificial saliva contamination on adhesion of dental restorative materials. *Dent Mater J* 2014; 33(4):545-50.
23. American Academy of Pediatric Dentistry. Behavior guidance for the pediatric dental patient. *Pediatr Dent* 2024:358-78.
24. American Academy of Pediatric Dentistry. Periodicity of examination, preventive dental services, anticipatory guidance/counseling, and oral treatment for infants, children, and adolescents. *Pediatr Dent* 2024:293-305.
25. Deshpande SS, Bendgude VD, Kokkali VV. Survival of Bonded Space Maintainers: A Systematic Review. *Int J Clin Pediatr Dent* 2018;11(5):440-45.
26. Arqub SA, Bashir R, Obeng K, Godoy LDC, Kuo CL, Upadhyay M, et al. Survival and failure rate of lower lingual bonded retainers: A retrospective cohort evaluation. *Orthod Craniofac Res* 2023; 26(2):256-64.
27. Chaudhari RR, Srivastava HR, Raisingani D, Prasad AB, Chinchalkar RP, Gattani S, et al. Effect of Saliva Contamination on Shear Bond Strength of Self-etch Adhesive System to Dentin: An *In Vitro* Study. *Int J Clin Pediatr Dent* 2021;14(4):443-6.
28. Khalil R, Yousuf AM, Masood Z, Sukhia RH, Fida M. Comparison of survival rate and duration of maxillary and mandibular lingual bonded retainers - a retrospective cohort study. *BMC oral health* 2025;25(1):1048.
29. American Academy of Pediatric Dentistry. Management of the developing dentition and occlusion in pediatric dentistry. *Pediatr Dent* 2024:475-93.
30. Crall JJ. Improving oral health for individuals with special health care needs. *Pediatr Dent* 2007;29(2):98-104.
31. American Academy of Pediatric Dentistry. Management of dental patients with special health care needs. *Pediatr Dent* 2024:343-50.
32. Estrella MR, Boynton JR. General dentistry's role in the care for children with special needs: a review. *Gen Dent* 2010;58(3):222-9.
33. Rai K, Supriya S, Hegde AM. Oral health status of children with congenital heart disease and the awareness, attitude and knowledge of their parents. *J Clin Pediatr Dent* 2009;33(4):315-8.
34. Jayachandar D, Gurunathan D, Jeevanandan G. Prevalence of early loss of primary molars among children aged 5-10 years in Chennai: A cross-sectional study. *J Indian Soc Pedod Prev Dent* 2019;37(2):115-9.
35. Sermsuti-Anuwat N, Piyakhunakorn P. Association Between Oral Health Literacy and Number of Remaining Teeth Among the Thai Elderly: A Cross-Sectional Study. *Clin cosmet investig Dent* 2021;13:113-9.
36. Reyes Garita P, Tran VT, Chatzopoulou E, Toko-Kamga L, Bouchard P, Carra MC. Oral hygiene behaviors and periodontitis among patients with chronic diseases and its impact on tooth loss and oral health-related quality of life: a cross-sectional study of data from the ComPaRe e-cohort. *Clin Oral Investig* 2024;28(10):518.

School-Based Oral Health Promotion Program for Visually Impaired Adolescents in Thailand: A Before-And-After Study

Nipaporn Urwannachotima¹, Phasika Chamnanchang², Pirada Pong-apiraksakul³, Pattaranun Uppamanoraset³, Palinee Detsomboonrat¹

¹Department of Community Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

²Dansai Crown Prince Hospital, Loei, Thailand

³Renu Nakhon Hospital, Nakhon phanom, Thailand

Abstract

Visual impairment causes some challenges for adolescents' oral health. This study aimed to develop an oral health promotion for visually impaired adolescents and evaluate the effect of the program on oral health literacy and oral behaviors. This one-group before–after study enrolled 27 visually impaired adolescents (grade 7-12) from the Bangkok school for the blind was conducted during June 2022 to January 2023. Clinical examination, oral health knowledge, word comprehension, and oral health behaviors were evaluated at baseline, immediately after the intervention and at a six-month follow-up. The oral health promotion including developing oral health literacy and tooth brushing skills via workshops and audio media, creating a supportive environment in school, developing an oral health policy, and reorienting oral health service was implemented. Caries prevalence was 76.5%. Mean (SD) DMFT was 2.41 (2.09) and mean (SD) OHI-S score was 1.74 (0.84) at baseline. Comparing the baseline and post-intervention immediately, there were significant improvements in the knowledge about tooth decay ($p=0.044$), oral health care ($p=0.022$) and cariogenic food ($p<0.001$). After six months, there were significant improvements in knowledge about tooth decay ($p=0.005$), gingivitis ($p=0.040$) and cariogenic foods ($p=0.001$) when compared with the baseline. There were significantly more adolescents who understood the dental keywords after six months in the words "periodontitis", "sealant", "dental pulp", "cervical tooth region" and "dental plaque". The significant improvement in behavior was only seen in the use of fluoride in toothpaste ($p=0.034$). School-based oral health promotion programs can improve oral health literacy and behaviors in using fluoride toothpaste among visually impaired adolescents.

Keywords: Adolescents, Blindness, Oral health promotion, School-based program, Visually impairment

Received date: Dec 18, 2025

Revised date: Feb 10, 2026

Accepted date: Feb 21, 2026

Doi: 10.14456/jdat.2026.17

Correspondence to:

Palinee Detsomboonrat, Department of Community Dentistry, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, 34 Henri-Dunant rd., Wangmai, Pathumwan, Bangkok 10330 Thailand. Tel: 081-4226944 E-mail: palinee.d@chula.ac.th

Introduction

Blindness is a visual impairment characterized by the complete or significant loss of vision in one or both eyes. The World Health Organization (WHO) defined

blindness as having visual acuity of less than 3/60 or corresponding visual field loss in the better eye with the best possible correction.¹ Visual impairment includes low

vision which is defined as visual acuity worse than 6/12 (low), 6/18 (moderate) and 6/60 (severe), and blindness. Around 2.2 billion of world population have visual impairment or blindness.² In Thailand, there are 184,542 visually impaired people who registered in the Ministry of Public Health system in 2024, accounting for 0.28 percent of the Thai population.³ Individuals who are visually impaired often experience difficulties in performing everyday tasks that require visual perception, such as reading, recognizing faces, and navigating their surroundings.¹ However, the impacts on oral health are often overlooked.

Several studies show that visually impaired people have poorer oral hygiene than sighted people. They have a higher prevalence of dental caries, gingivitis and other difficulties with oral function.⁴ In visually impaired people, it is more difficult to maintain oral hygiene since their perceptual ability depends primarily on touching and hearing, therefore they cannot detect their oral problems as promptly as others. Moreover, they have less opportunity to access dental service and to obtain knowledge about oral health care.⁵ Focusing on preventive dentistry in young visually impaired people could improve their oral health status and reduce the need for more complex treatment later on.

Understanding these challenges and implementing appropriate strategies to address them is essential to ensure that individuals with visual impairment receive adequate oral health care and can maintain optimal oral health.⁶ Oral health promotion program in school, which includes changing the environments to accident-free areas, developing healthy meal plans, cooperating with local hospitals to refer students with complicated oral conditions and providing oral health education for students, is a good way to help visually impaired people to have better knowledge, skills and access to dental services. Despite the potential benefits, there is a notable gap in the literature concerning oral health promotion programs specifically tailored to visually impaired schools.

The primary objective of this study is to develop an oral health promotion program in schools catering to visually impaired adolescents. The study aims to assess oral health literacy and oral behaviors among this population

and, subsequently, discuss potential solutions to enhance oral health outcomes. By focusing on preventive measures and education, this research seeks to contribute valuable insights that can positively impact the oral health of visually impaired individuals, fostering better knowledge, skills, and access to dental services.

Materials and Methods

This one-group before–after study did not include a separate control group, and outcomes before and after the intervention were compared within the same group of participants. This study has been approved by the Human Research Ethics (HREC-DCU 2022-051), and informed consent was acquired from the participants in the study. The responses of the participants were kept confidential and were not linked to their identities. The data analysis was performed in block form, rather than individually, to assure anonymity and confidentiality. The study duration was from June 2022 to January 2023.

Theoretical Framework - Ecological Model

The design of this study was based on the ecological model for health behavior⁷, encompasses interrelated multi-level approaches. Prior the intervention design, the consultative meeting with stakeholders consist of the director of school, members of school board, head of school health education and representative of teachers and students who were visually impaired was convened to develop the blueprint for intervention framework. At the individual level, tactile and auditory educational materials and personalized support enhance oral health knowledge and skills. Interpersonal strategies involve relationships with family, friends, peers, and social networks to influence of social support, communication patterns, and social norms on individual behavior. Organizational efforts focus on integrating inclusive oral health education into the curriculum and ensuring accessible resources within the school environment. Community engagement includes workshops and accessible dental services, while policy advocacy aims to prioritize oral health needs at the public policy level. Continuous evaluation and feedback loops ensure the adaptability and effectiveness of the program, creating a comprehensive and inclusive

framework for promoting positive oral health behaviors among visually impaired students.

Study population

Visually impaired high school students (Grade 7- 12) from the Bangkok School for the Blind who can communicate through listening were included in this study. The exclusion criteria for this study involved individual students with physical, mental, or hearing impairment. The visually impaired students received a verbal explanation in detail of the study design and they were asked to give their informed consent. The participants comprised of 27 visually impaired adolescents who attended the Bangkok School for the Blind.

Research Instruments

An online questionnaire using screen reader, text-to-speech (TTS) and speech recognition program on the phone can help the participants to read and answer the questionnaires. The questionnaire consisted of four parts: demographic characteristics, oral health knowledge, oral health behavior, and word comprehension. The 24-item oral health knowledge section covered causes of dental caries, oral health care, and cariogenic foods. The 12-item oral health behavior section assessed participants' habits, and the word comprehension section comprised 20 words. The questionnaire underwent validation by experts, ensuring content relevance and clarity.

Data collection procedures

Before the study

Prior to the intervention, telephone interviews with one teacher and two students provided insights into oral health behavior, dental utilization, school environments, and the oral health education curriculum. Baseline data, including demographic information, were collected from the 27 participants through online questionnaires. Oral examinations for plaque (using the simplified oral hygiene index - OHI-S) and caries status (using decayed, missing, and filled teeth - DMFT index) were conducted for 17 students at the initial visit.

Oral health promotion intervention

After completion of the baseline survey, the interventions were conducted at the Bangkok School for the Blind and divided into four key parts of health promotion

actions following the Ottawa Charter⁸ including: 1) developing personal skills; 2) creating supportive environments; 3) promoting oral health through public policy; 4) reorientating oral health service. While all components were implemented as part of a comprehensive program, outcome evaluation primarily focused on changes in oral health literacy and oral health behaviors.

Part I Developing personal skills: This core component aims to promote understanding and to support the development of personal skills which enable individuals to take action to promote their health through the workshops. The three-hour session utilized audio-tactile aids (audio clip and dental model) and focused on: dietary components and their effects on oral tissues; the importance of a balanced diet; etiology of dental caries, gingivitis, clinical manifestations, treatment modalities; prevention of dental caries, sealant; the importance of brushing teeth twice daily and proper tooth-brushing technique; and the importance of a regular dental visit. Hand-on tooth brushing using modified bass technique was practiced in small groups. Furthermore, audio media was sent via participants' Line group (social communication) every month for three months.

Part II Creating supportive environments: The study emphasized the creation of a supportive school environment to facilitate oral health promotion among visually impaired adolescents. A participatory approach was employed to ensure that the learning environment was inclusive, accessible, and responsive to the specific needs of students with visual impairment. Environmental modification and supportive learning processes were developed through consultations with key stakeholders, including school administrators, teachers, caregivers, and students. Focus group discussions were conducted to explore barriers to oral health practices within the school setting and to identify feasible environmental supports. Findings from these discussions informed the design of tailored activities and materials. As part of the program implementation, schools were encouraged to provide healthier snack and beverage options in vending machines. To support regular tooth brushing, school nurses were encouraged to implement a standardized

tooth-brushing protocol, and toothbrushes with 1,500 ppm fluoride toothpaste were provided to all students.

Part III Promoting oral health through public policy and community participation: This component served as an enabling strategy aimed at institutional support rather than a directly evaluated outcome. Policy-level discussions were conducted to establish school-based guidelines that supported regular oral health activities, including scheduled toothbrushing after meals, provision of fluoride toothpaste and appropriate oral hygiene equipment, and screening and referral system for dental services provided by volunteer dentists in school dental clinics. Advocacy efforts were directed toward the school board to encourage the adoption of a healthy food policy, including guidance for donors to provide healthier food options and promoting healthy meals in the school cafeteria. These actions were intended to support and sustain individual-level behavior changes promoted in the program. The study also encouraged the incorporation of

oral health promotion into the health-related regulations and annual action plans of the school.

Part IV Reorientation oral health service: Reorientation of oral health services was implemented as a supportive structural component of the program. The research team facilitated collaboration among school administrators, school nurses, and teachers to support the establishment of preventive oral health services within the school. In addition, a referral pathway for students requiring further or specialized dental treatment to local hospitals was discussed and coordinated. This component aimed to improve access to preventive care and continuity of oral health services, although its outcomes were not quantitatively evaluated in this study.

Table 1 describes the oral health promotion actions and the expected outcome. These outcomes are the bridge between what we do and what we are trying to achieve in oral health promotion interventions.

Table 1 Expected outcome from Oral Health Promotion Program

Intervention	Activity	Expected outcome
Developing personal skills	<ul style="list-style-type: none"> • Oral health literacy workshop and tooth brushing training • Audio media via group chat 	<ul style="list-style-type: none"> • Increase oral health literacy • Increase tooth brushing skill • Improve oral health behavior
Create supportive environment in school	<ul style="list-style-type: none"> • Consultative meeting with school board and stakeholder • Providing toothbrushes and 1500 ppm toothpastes 	<ul style="list-style-type: none"> • Availability of healthy snacks and drinks in vending machines • Availability of toothbrushes 1500 ppm fluoride toothpastes
Promoting oral health through public policy	<ul style="list-style-type: none"> • Advocating school board to promote healthy food policy 	<ul style="list-style-type: none"> • Promote healthy food from donation • Availability of healthy food in school cafeteria
Reorientation oral health service	<ul style="list-style-type: none"> • Facilitation health teacher to set preventive clinics in the school • Referring students for dental treatment in cooperation with local hospitals 	<ul style="list-style-type: none"> • Having preventive clinics in the school • Number of students who have oral examination and are referred for treatment, if needed.

Post-Intervention and Follow-Up

Data on oral health knowledge and word recognition were collected immediately post-intervention and again six months later, utilizing the same questionnaire and clinical oral examinations as at baseline.

Statistics analysis

The statistical analysis was carried out using SPSS version 22 (IBM, Armonk, NY, USA). The paired *t*-test was employed to assess the clinical outcome and word comprehension both before and after the intervention.

For comparison of baseline data, immediately after, and six months post-intervention in the knowledge segments, we utilized repeated ANOVA. The Chi-square test was used to identify and compute categorical variables. A *P*-value of less than 0.05 was deemed statistically significant.

Results

A total of 27 visual impaired adolescents aged 13 - 20 years old (8 males, 19 females) were recruited for this study. The median age (interquartile range) was 16 (3) years. There were 14 (51.9%) totally blind students and 13 (48.1%) partially blind students. At baseline, 17 participants underwent clinical examination, showing a caries prevalence of 76.5 % with a mean (SD) DMFT of 2.41 (2.09) and a mean (SD) OHI-S score of 1.74 (0.84).

All 27 participants completed the immediate post-intervention assessment. At the six-month follow-up, 18 participants completed the questionnaire and were included in the main outcome analyses, resulting in an overall attrition rate of 33.3%. Reasons for loss to follow-up included absence on the examination date and non-response to the online questionnaire. Clinical

re-examination at six months was available for nine participants only (Supplementary file).

Following the ATP-based intervention, significant improvements in oral health knowledge were observed, particularly in domains that were directly addressed through audio-tactile learning and hands-on practice. Immediately after the intervention, significant gains were observed in knowledge related to tooth decay ($p=0.044$), oral health care practices ($p=0.022$) and cariogenic foods ($p<0.001$). However, gingivitis ($p=0.248$) and dental attendance ($p=0.645$) showed no significant change. After six months, there were significant improvements in the categories of tooth decay ($p=0.005$), gingivitis ($p=0.040$), and cariogenic foods ($p=0.001$) when comparing at the baseline. Whereas the category of oral health care ($p=0.050$) and dental attendance ($p=0.165$) showed improvement but was not statistically significant. The total knowledge score highly increased over time. The percentage of knowledge score increased from 61.13 (at baseline) to 83.83 (at six months), suggesting a sustained effect of the ATP-based educational approach. (Table 2).

Table 2 Knowledge scores at baseline, immediate and 6 months after intervention (n=18)

Knowledge category	Knowledge score						p value (T0-T1)	p value (T0-T2)
	T0 (baseline)		T1 (immediate)		T2 (6m)			
	Mean	SD	Mean	SD	Mean	SD		
Tooth decay	1.5	0.618	1.89	0.323	1.94	0.236	0.044*	0.005*
Gingivitis	2.78	1.114	3.44	0.705	3.67	0.594	0.248	0.040*
Oral health care	5.5	1.286	7.21	1.251	7.07	1.328	0.022*	0.050
Dental attendance	1.56	0.511	1.78	0.428	1.89	0.323	0.645	0.165
Food	3	1.029	5.22	1.06	4.67	1.455	<0.001*	0.001*
Total	14.06	3.077	19.89	2.246	19.28	3.025	<0.001*	<0.001*

* p value analyzed using repeated ANOVA with statistically significant different ($p<0.05$)

In terms of functional oral health literacy, word comprehension of key dental terms improved markedly after the intervention. The number of participants who correctly understood technical terms such as "periodontitis",

"sealant", "dental pulp", "cervical tooth region" and "dental plaque" increased at six months compared with baseline (Fig. 1), reflecting enhanced conceptual understanding facilitated by multisensory learning strategies.

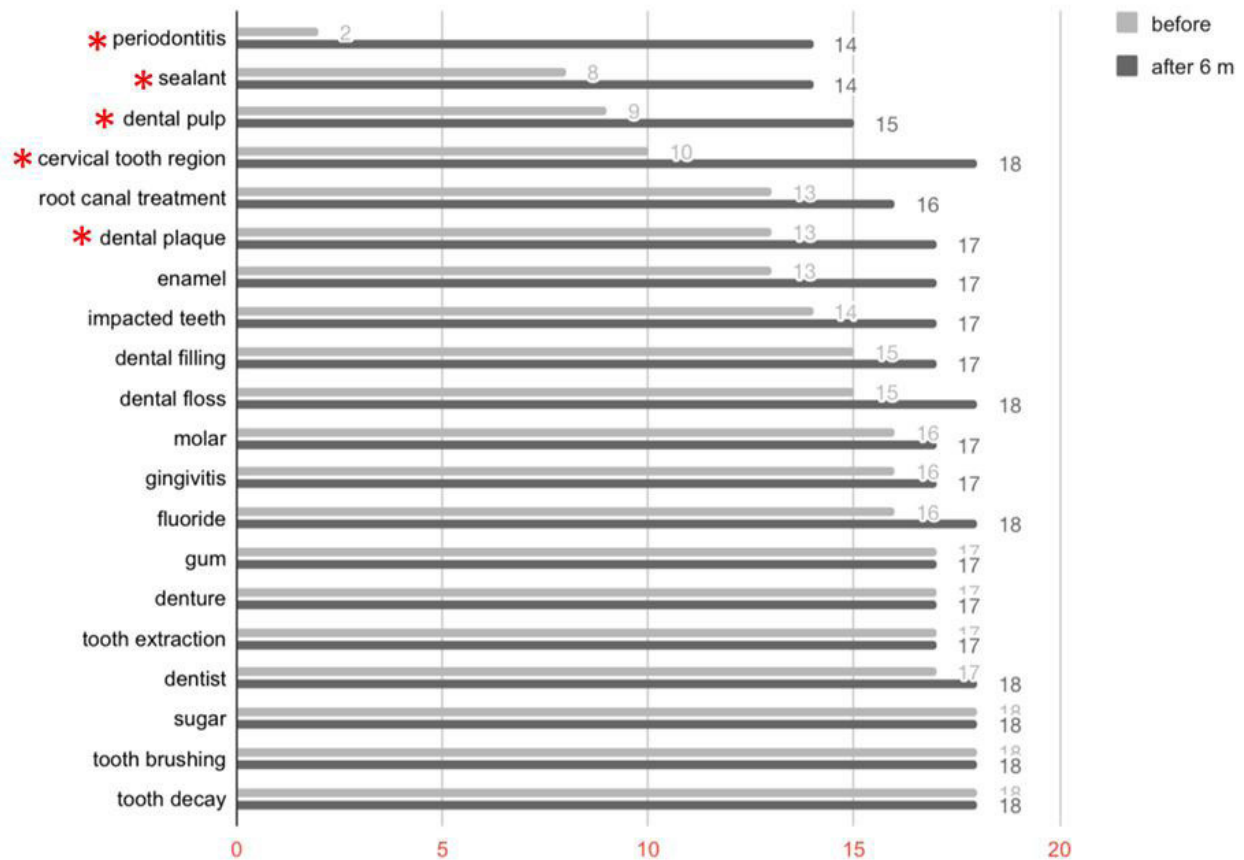


Figure 1 At baseline and 6 months post-intervention, 18 students understood oral health literacy terms.

Changes in oral health behaviors were modest. A statistically significant improvement was observed only in the use of fluoride toothpaste, which increased from 38.9% at baseline to 77.8% at six-month follow-up ($p = 0.034$).

Other behaviors, including frequency of tooth brushing, sugar consumption, use of additional oral care products, and dental attendance, showed no statistically significant changes (Table 3).

Table 3 Oral health behaviors before and after intervention (n=18)

Oral health behavior	n (%)		p-value
	before	after 6 months	
frequency of sugar consumption	in meal	11 (61.1)	0.098
	1-2 times/day	6 (33.3)	
	>2 times/day	1 (5.6)	
frequency of tooth brushing	0-1 time/day	3 (16.7)	0.289
	>=2 times/day	15 (83.3)	
type of toothbrush	manual	17 (94.4)	0.310
	electric	1 (5.6)	
toothbrush bristles	soft	7 (38.9)	0.138
	medium	8 (44.4)	
	hard	3 (16.7)	
fluoride in toothpaste	with fluoride	14 (77.8)	0.034*
	without fluoride	2 (11.1)	
	not sure	2 (11.1)	

Table 3 Oral health behaviors before and after intervention (n=18) (cont.)

Oral health behavior		n (%)		p-value
		before	after 6 months	
other oral care products	no use	11 (61.1)	13 (72.2)	0.775
	floss	2 (11.1)	2 (11.1)	
	mouthwash	1 (5.6)	2 (11.1)	
	proxabrush	1 (5.6)	1 (5.6)	
	toothpick	1 (5.6)	2 (11.1)	
frequency of dental visit	none	13 (72.2)	14 (77.8)	0.464
	1 time	5 (27.8)	3 (16.7)	
	>=2 times	0 (0.0)	1 (5.6)	

* p value analyzed using Chi-square test with statistically significant difference (p<0.05).

No statistically significant differences were observed in the mean numbers of decayed teeth (DT), missing teeth (MT), filled teeth (FT), or the overall DMFT scores between baseline and the six-month follow-up assessment. The mean Oral Hygiene Index–Simplified (OHI-S) score showed a slight downward trend at six months compared with baseline; however, this change did not reach statistical significance.

Regarding the healthy public policy, supportive environment component, post-implementation findings indicated incremental but meaningful developments at the institutional level. Although no formal revisions to school regulations concerning food and beverage sales were observed during the study period, oral health considerations began to be incorporated into existing school health practices and service delivery structures. Preventive dental services, including annual dental examinations, topical fluoride application, and fissure sealant placement, were maintained as routine practices within the school dental clinic, reflecting sustained policy support for preventive oral health care for students with visual impairment. In addition, a structured referral policy was operationalized for students requiring advanced dental treatment. Approximately ten students per year were systematically referred to the Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, indicating the presence of an established inter-institutional collaboration and continuity of care beyond the school setting.

Furthermore, the initiation of an oral health education module tailored for visually impaired students

was implemented by another research team and integrated into the school curriculum. This suggests growing institutional recognition of oral health as a component of comprehensive student well-being. While this curriculum initiative was not directly generated by the present program, it reflects an enabling policy environment and increased alignment between educational and health objectives within the school system. Overall, these findings demonstrate early-stage policy integration characterized by the maintenance of preventive service provision, formalized referral pathways, and emerging curriculum-level actions. However, broader policy changes affecting the school food environment, particularly regulations governing beverage availability, had not yet been realized during the study period.

Discussion

The findings of this study indicate that visually impaired adolescents had a higher prevalence of dental caries and poorer oral health than sighted counterparts. This observation is consistent with national and international evidence demonstrating oral health disparities among individuals with visual impairment. Data from the report of the 9th Thai National Oral Health Survey in 2023⁹ showed that 15-year-old Thai adolescents had a caries prevalence of 61.2%, a mean DMFT of 2.1 whereas caries prevalence of this study was 76.5% with the mean DMFT of 2.41 teeth. Similar to Bunyoo's study in Thailand that found 58.8% of visually impaired adults (ages 21 to 93; mean age 67.45) had dental caries. Moreover, they had less restoration in

due to the lower accessibility of dental treatment.¹⁰ Samnieng *et al.*'s study conducted on 146 visually impaired adults (mean age 48.8–5.9) who live in Phitsanulok, Thailand indicated that visually impaired people had poorer oral hygiene than the sighted ones.⁴ In accordance with studies in India (Solanki *et al.*, 2013), which compared 354 visually impaired children (ages 6 to 15 years) to 350 sighted children, the prevalence of dental caries in visually impaired children (60%) was higher than the group of the sighted children (31.5%). These findings reflect persistent structural, informational, and environmental barriers to oral health care among visually impaired adolescents. Such disparities underscore the need for oral health promotion strategies that address not only individual knowledge deficits but also broader social and environmental determinants of health, in line with the Ottawa Charter for Health Promotion. In this context, the outcomes of the present study can be meaningfully interpreted through the framework of developing personal skills and creating supportive environments, which represent two core components of the implemented program.

This finding might be possible that those who are visually impaired have poorer oral hygiene because they have difficulty in locating plaque⁴ and cannot identify oral diseases as early as others.¹¹ Additionally, they lack knowledge of proper oral health care and are less aware of the importance of regular dental checkups, resulting in tooth decay later.⁴ Moreover, less access to dental treatment is one of the reasons why visually impaired people have more oral health concerns than sighted people. Other reasons include parents' attitudes that do not recognize the importance of oral care for visually impaired children, dentists' bias against the visually impaired, and environments that are unfriendly to the visually impaired.^{4,12} These results are consistent with the study of Yalcinkaya *et al.*¹³, which found that an effective oral health program could improve the oral health knowledge of visually impaired students. In this context, the present study highlights the potential role of the Audio-Tactile Performance (ATP) technique in enhancing oral health literacy among visually impaired adolescents. By integrating auditory instruction, tactile

exploration, and hands-on practice, the ATP approach aligns with multisensory learning principles that are particularly relevant for individuals with visual impairment. Evidence from related populations further supports this approach: a systematic review by Shrivastava *et al.*¹⁴ reported improved oral health knowledge and behaviors through visual learning strategies among children and adolescents with hearing impairment, while Khurana *et al.*¹⁵ emphasized the importance of adapting oral health education to the sensory needs of individuals with visual impairment using accessible formats such as Braille-based tools. Collectively, these findings reinforce the rationale for multisensory, sensory-adapted educational approaches, consistent with the significant and sustained improvements in oral health knowledge and word comprehension observed in the present study.

Improvements were particularly evident for technical terms such as "periodontitis", "sealant", "dental pulp", "cervical tooth region" and "dental plaque". These gains are likely attributable to repeated exposure through audio media and tactile engagement during workshops, especially the opportunity to physically explore dental models. Tactile learning enables individuals with visual impairment to better perceive three-dimensional structures and spatial relationships, which may facilitate deeper understanding and retention of oral health concepts. These findings are consistent with previous studies demonstrating the effectiveness of ATP-based oral health education among visually impaired children and adolescents.¹⁶ In contrast, commonly used daily terms such as tooth brushing, sugar, and dentist showed limited change, likely reflecting a ceiling effect, as participants were already familiar with these concepts prior to the intervention. This distinction further supports the role of ATP techniques in strengthening more complex or abstract aspects of oral health literacy rather than basic knowledge alone.

With regard to oral health behaviors, a statistically significant improvement was observed only in the use of fluoride toothpaste. This change may have been influenced by both increased oral health knowledge acquired through the audio-tactile performance (ATP)-based education

and a reduction in access-related barriers, as fluoride toothpaste was provided to all participants as part of the intervention. Visually impaired adolescents may experience difficulty in identifying fluoride content on toothpaste labels, and therefore the combination of targeted education and material support likely facilitated this behavioral change. However, due to the one-group before–after study design, the independent effects of knowledge improvement and resource provision cannot be clearly disentangled.

In contrast, other oral health behaviors, including tooth brushing frequency, sugar consumption, and dental attendance, did not show statistically significant changes. Although tooth brushing skills were addressed through hands-on ATP training, a single session may have been insufficient to produce sustained behavioral change. Difficulties in brushing posterior and lingual surfaces were observed, suggesting that repeated practice and reinforcement may be necessary to translate skill acquisition into habitual behavior. Previous studies have similarly emphasized the importance of repeated and longitudinal training sessions for improving oral hygiene practices among visually impaired individuals.¹⁷

Sugar consumption also remained largely unchanged, likely due to environmental influences beyond individual control, such as the availability of sugary foods and beverages in and around school settings. This finding aligns with existing literature demonstrating that dietary behaviors among children and adolescents are strongly shaped by physical and social environments.^{18,19} In the absence of substantial environmental or policy-level modifications, individual-level education alone may have limited impact on such behaviors. Consequently, the lack of significant improvement in clinical outcomes, including DMFT and OHI-S scores, is not unexpected within the relatively short follow-up period.

With respect to creating supportive environments and policy-related actions, a descriptive follow-up conducted after program implementation indicated that changes in the physical school environment remained limited, particularly regarding beverage options available through vending machines. This finding highlights the challenges of modifying environmental determinants of health within

school settings, which often require sustained policy commitment beyond short-term interventions. Nevertheless, progress was observed in other supportive domains, including the initiation of an oral health education module tailored as part of the school curriculum by another research team, and the establishment of a referral pathway enabling students to access comprehensive dental care. Although these developments were not quantitatively evaluated, they represent early steps toward strengthening supportive environments and reorienting oral health services in alignment with the Ottawa Charter framework.

Several limitations need to be acknowledged. The one-group before–after study design limits causal inference and does not allow clear separation of the effects of individual skill development and environmental support. In addition, the relatively high loss to follow-up may have reduced statistical power to detect changes in behaviors and clinical outcomes. Finally, longer follow-up periods are likely required to observe meaningful changes in oral health behaviors and clinical indicators. Despite these limitations, the present study provides valuable evidence supporting the application of ATP-based strategies within an Ottawa Charter–informed framework to improve oral health literacy among visually impaired adolescents.

Conclusion

A school-based oral health promotion program can effectively enhance oral health literacy and improve specific oral health behaviors, particularly the use of fluoride toothpaste, among visually impaired adolescents.

Acknowledgments

The authors would like to express their gratitude to the Dental Research Fund (320050/#1/2022) for funding this project and the Bangkok School for the Blind for facilitating data collection. The authors would like to thank all the participants and colleagues for assistance to complete this project. This study was supported by Dental Research Fund, Dental Research Project (320050/#1/2022), Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University.

References

1. Burton MJ, Ramke J, Marques AP, Bourne RRA, Congdon N, Jones I, *et al.* The Lancet Global Health Commission on Global Eye Health: vision beyond 2020. *Lancet Glob Health* 2021;9(4):e489-e551.
2. Organization WH. Blindness and vision impairment 2023 [Available from: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/blindness-and-visual-impairment>].
3. Disabilities DoEoPw. Statistics of Registered Persons with Disabilities Nationwide 2025 [Available from: <https://dep.go.th/th/>].
4. Patcharaphol Samnieng PS, Supattra Wichachai, Patcharawan, Yusookh. Oral Health Status and Treatment Needs of Visual Impairment in Phitsanuloke, Thailand. *JDI* 2014;21(2):63-7.
5. Kwan SY, Petersen PE, Pine CM, Borutta A. Health-promoting schools: an opportunity for oral health promotion. *Bull World Health Organ* 2005;83(9):677-85.
6. Shariffard N, Sargeran K, Gholami M, Zayeri F. A music- and game-based oral health education for visually impaired school children; multilevel analysis of a cluster randomized controlled trial. *BMC Oral Health* 2020;20(1):144.
7. Sallis JF, & Owen, N. Ecological models of health behavior. In: In K. Glanz BKR, & K. "V." Viswanath, editor. *Health behavior: Theory, research, and practice*. 5th ed. ed: Jossey-Bass/Wiley; 2015. p. 43-64.
8. Organization WH. The 1st International Conference on Health Promotion, Ottawa, 1986: World Health Organization; 1986 [Available from: <https://www.who.int/teams/health-promotion/enhanced-wellbeing/first-global-conference>].
9. Department of Health MoPH, Thailand. The 9th National Oral Health Survey, Thailand, 2022-2023: Bureau of Dental Health; 2023 [Available from: https://dental.anamai.moph.go.th/web-upload/5x9c01a-3d6e5539cf478715290ac946bee/202406/m_magazine/36716/4952/file_download/f983389ded6e5dccbfe6f3362a453364.pdf].
10. C B. Predisposing, enabling and reinforcing factors and oral health behavior associated with dental caries of visually impaired. *Regional Health Promotion Center 9 Journal, The Journal for Health Promotion and Environmental Health* 2019;13:44-62.
11. Kadkhoda Z RA, Amiri A. . Effect of visual impairment education on the improvement of oral hygiene and reduction of periodontitis prevalence. *Int J Med Dent* 2014;4(2):7-12.
12. Mohan R RR, Gubbihal R, Kousalya PS. Comprehensive dental care for the visually impaired: A review. *Int J Oral Health Med Res* 2016;3:97-101.
13. Yalcinkaya SE, Atalay T. Improvement of oral health knowledge in a group of visually impaired students. *Oral Health Prev Dent* 2006;4(4):243-53.
14. Shrivastava R, Gupta A, Nishant, Sharda S, Das D, Goyal A. Visual learning strategies for oral health promotion and treatment interventions in children and adolescents with hearing impairment - A systematic review. *Spec Care Dentist* 2023;43(5):597-610.
15. Khurana C. Empowering Visually Impaired Individuals for Good Oral Health. *Int Dent J* 2024;74:S44.
16. Novak M SS. Does touching real objects affect learning?. *Educ Psychol Rev* 2021;33(2):637-65.
17. Haque SE, Rahman M, Itsuko K, Mutahara M, Kayako S, Tsutsumi A, *et al.* Effect of a school-based oral health education in preventing untreated dental caries and increasing knowledge, attitude, and practices among adolescents in Bangladesh. *BMC Oral Health* 2016;16:44.
18. de Bruijn GJ, Kremers SP, de Vries H, van Mechelen W, Brug J. Associations of social-environmental and individual-level factors with adolescent soft drink consumption: results from the SMILE study. *Health Educ Res* 2007;22(2):227-37.
19. Duijster D, de Jong-Lenters M, Verrips E, van Loveren C. Establishing oral health promoting behaviours in children - parents' views on barriers, facilitators and professional support: a qualitative study. *BMC Oral Health* 2015;15:157.

Anatomical Tracing of Mandibular Third Molars using Deep-Learning Models

Sanicha Yaklai¹, Raknatee Chokluechai², Chaloeprit Phrueksotsai¹, Chaklam Silpasuwanchai², Soranun Chantarangsu³, Phonkit Sinpitaksakul⁴

¹Faculty of Dentistry, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

²School of Engineering and Technology, Asian Institute of Technology, Pathumthani, Thailand

³Faculty of Dentistry, Department of Oral Pathology, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

⁴Faculty of Dentistry, Department of Radiology, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand

Abstract

The aim of this study was to compare the performance of Convolutional Neural Network (CNN) models in tracing mandibular third molars in panoramic radiographs for surgical difficulty planning. This is a retrospective, cross-sectional study. A total of 343 panoramic radiographs of innovative anatomical landmarks of impacted mandibular third molars and related structures were annotated by a specialist. These were divided into two groups: 276 films for training and 67 films for validation. Four CNN models—AlexNet, ResNet18, ResNet50, and VGG16—were used for comparison with the annotations of the specialist. Loss function, mean squared error and tracing results were used for evaluation. Although ResNet50 achieved a low loss function of 0.001 in the validation set, suggesting it might be the best model, Mean square errors and the tracing results of AlexNet and VGG16 outperform the other models. None of the models generate correct superimposition. The application of deep learning models in this domain is not yet ready for clinical use due to incorrect superimposition tracing; however, they show potency for future development. Further studies are essential.

Keywords: Convolutional neural network, Deep learning, Impacted tooth, Mandibular third molar, Panoramic radiograph

Received date: Dec 2, 2025

Revised date: Mar 12, 2026

Accepted date: Apr 3, 2026

Doi: 10.14456/jdat.2026.18

Correspondence to:

Sanicha Yaklai, Department of Oral and Maxillofacial Surgery, Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, 34 Henri Dunant Road, Wangmai, Pathumwan, Bangkok 10330, Thailand. Telephone & Fax: (+66)-2-218-8581 Email: sanicha.y@chula.ac.th

Introduction

Mandibular third molar impaction is the most common tooth impaction in the oral cavity. The difficulty of surgically removing the mandibular third molar depends on various factors, such as the space between the anterior ascending ramus and the distal surface of the mandibular second molar, as well as the vertical level of the mandibular

third molar relative to the occlusal plane. The criteria for classifying the difficulty of mandibular third molar removal are Pell and Gregory's classification¹ and Winter's classification², which are based on panoramic radiographs. Moreover, other factors can influence the difficulty, including the root curvature, root size, number of roots, distance between

the root apex and the mandibular canal, and the width of the periodontal ligament space.³ However, applying these criteria may require personnel with the ability to analyze the films; and the process to analyze the film seems to be time-consuming.

Convolutional Neural Network (CNN) is a deep learning architecture specialized for processing n-dimensional data, such as images.⁴ It works by hierarchically extracting features through layers designed to mimic visual perception, starting with patterns for example edges, textures, shadows and progressing to complex structures. Most CNNs work for image processing in Computer Visions such as object or face detection. Currently, CNNs are used in various fields, including dentistry, for detecting dental caries⁵ and periodontal diseases⁶, the Kennedy classification of partially edentulous arches⁷ as well as classifying jaw relationship types.⁸ There are many CNN models that can be used in analyzing the mandibular third molar in the panoramic radiograph,⁹⁻¹³ but no single models outperform others. Research exploring the use of CNNs for classifying the difficulty of impacted mandibular third molar in radiographic images have not been extensively developed. One study attempted to compare the difficulty score from CNN reading with the specialist reading.¹² While their findings demonstrated good performance, it was observed that their scoring system only has three levels, which may not provide adequate information for surgical planning and cannot fully illustrate the difficulty pattern. Other studies focused on three domains related to difficulty: molar-ramus relationship, depth, and angulation.^{10,11} However, it did not include other relevant domains that contribute to difficulty and potential complications, such as the root-inferior alveolar canal (IAC) relationship and root morphology. Moreover, the current research gap is a lack of suitable datasets for segmentation and the inability of existing deep learning models to provide explainable outputs hinder their practical application in

classifying mandibular third molar impaction difficulty. These knowledge gaps have driven the design of our study, which aimed to use CNNs for tracing mandibular third molars and related structures that incorporate the existing classification and root-inferior alveolar canal relationship. Four common CNN models—AlexNet, ResNet18, ResNet50, and VGG16— were further evaluated for this tracing task.

Materials and Methods

Dataset and Deep Learning Model Processing

243 panoramic radiographs of patients with at least one side with a mandibular third molar were collected from the Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University. The films were randomly obtained from four machines, i.e., CS 8000C (Carestream Dental LLC, Atlanta, USA), CS 9000C (Carestream Health, NY, USA), Veraview Epocs 3D (J. Morita Corporation, Kyoto, Japan) and NewTom GiANO HR (Cefla s.c., Imola, Italy) according to their user manuals. The images were processed and cropped into the area that was used for training and validating the model.

The region of interest (ROI) was identified from a pilot study using the following steps: cropping the images, reviewing the results with an oral & maxillofacial surgeon (OMFS, SY) who is Thai board certified with ten years of experience, and repeating this process until all the dataset images including the mandibular second and third molar and related structures, such as anterior ascending ramus and inferior alveolar canal. The ROI centers for the right tooth were 0.265 in the width and 0.650 in the height. The ROI centers for the left tooth were 0.735 in the width and 0.650 in the height. The ROI square images had 720 pixels for the width and height (Fig. 1). The cropped images without a mandibular third molar were excluded. Ultimately, 343 cropped images were used as datasets.

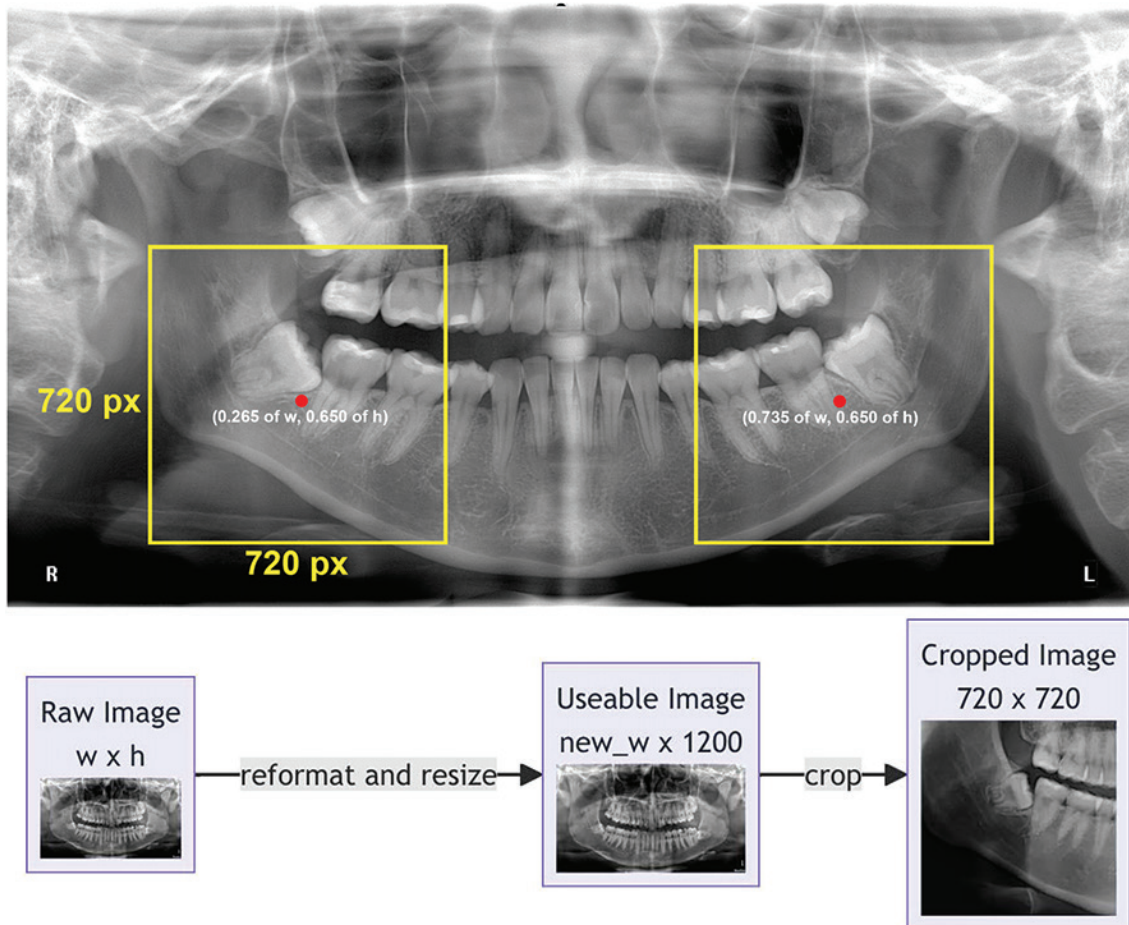


Figure 1 Panoramic radiographs were processed and cropped. The ROI centers for the left tooth size were 0.265 in the width and 0.650 in the height. The ROI centers for the right tooth size were 0.735 in the width and 0.650 in the height. The ROI square images have 720 pixels for width and height.

The researchers used an image array as the input to the machine learning (ML) model, and the output of the model consisted of landmark points. The original ML architecture was modified by customizing the fully connected layers. Specifically, the custom fully connected layer was revised by replacing its activation function with the rectified linear unit function and incorporating layer normalization and dropout. These modifications were intended to adapt the classification model for regression tasks.

In the current study, Python 3.12 and PyTorch 2.3.1 were used. The ML models including AlexNet, ResNet18, ResNet50, and VGG16 were implemented in Python. Prior to training, all data preprocessing—including tasks such as image resolution resizing—was automated using Python scripts. Data augmentation included random Gaussian blur (5x5 kernel, $\mu=0.01$, $\sigma=0.25$) and brightness variation ($\pm 20\%$).¹¹ These augmentations aimed to simulate

inter-patient and imaging variability. Moreover, a sigma range of (0.5, 0.7) to simulate realistic image variations and improve model robustness. For training, the hyperparameters were set as follows: learning rate of 1e-4, L1 regularization rate of 7e-3, L2 regularization rate of 7e-3, and a dropout rate of 0.5 to prevent overfitting. These settings helped enhance generalization by smoothing input images and controlling model complexity during training.

The deep learning model was trained using fine tuning with pretrained CNN models. The pretrained weights from the ImageNet-1K_V1 dataset for model initialization. ImageNet-1K_V1, also known as ILSVRC 2012, is a widely used subset of the larger ImageNet dataset designed for benchmarking computer vision models.¹⁴ The convolutional parameters and fully connected parameters were trained. There were four deep learning models in this experiment comprising AlexNet, ResNet18, ResNet50 and VGG16.

In the experiment, 343 cropped films were split into a training set (276 films) and a validation set (67 films). The training and validation sets were randomly divided manually before being trained. An Adam optimizer was used with a small initial learning rate. To prevent overfitting, weight decay and regularization were applied. The model was trained with a mini-batch size of 64 for 201 epochs, with early stopping implemented when the validation loss converged. Training was performed on an NVIDIA RTX 4070Ti Super.

Anatomical landmark determination

Twenty-nine landmarks (Table 1) were determined by the OMFS. All the landmarks are related to the classification of the mandibular third molar surgical removal difficulty. The landmarks were determined manually and measured using the ImageJ Schneider CA program¹⁵ (Fig. 2). To ensure standardization, manual tracing was previously performed by two examiners (SY and CP) during a pilot study.

Table 1 Anatomical landmarks of the mandibular third molars and related structures.

Area of Interest	Landmarks
Mandibular third molar	1 Mesial cusp tip
	2 Distal cusp tip
	3 Widest point at mesial crown
	4 Widest point at distal crown
	5 Mesial cemento-enamel junction
	6 Distal cemento-enamel junction
	7 Widest point at mesial root
	8 Widest point at distal root
	9 Mesial root apex
	10 Distal root apex
	11 Point indicated root morphology ^a
	12 Root furcation
	13 Central pit ^b
Mandibular second molar	21 Highest point where anterior ascending ramus crosses the mandibular third molar.
	22 Point indicated incomplete root formation of mesial root ^c
	23 Point indicated incomplete root formation of distal root ^c
	14 Widest point at distal crown
	15 Mesial cusp tip
	16 Distal cusp tip
Inferior alveolar canal (IAN)	17 Mesial cemento-enamel junction
	18 Distal cemento-enamel junction
	19 Central pit ^b
	20 Root furcation
	24 Upper border of IAN located anterior to the roots of mandibular third molar
25 Upper border of IAN located near the roots of mandibular third molar	
26 Upper border of IAN located posterior to the roots of mandibular third molar	
27 Lower border of IAN located anterior to the roots of mandibular third molar	
28 Lower border of IAN located near the roots of mandibular third molar	
29 Lower border of IAN located posterior to the roots of mandibular third molar	

^aIn case of root separation, no. 11 will be the same point as no. 12. If the roots do not separate, no. 11 will be at the midpoint where the two roots are attached.

^bThe deepest point of the occlusal surface between the mesial and distal cusp tips

^cIn case of complete root formation, no. 22 and no. 23 will be the same points as no. 9 and no. 10, respectively.

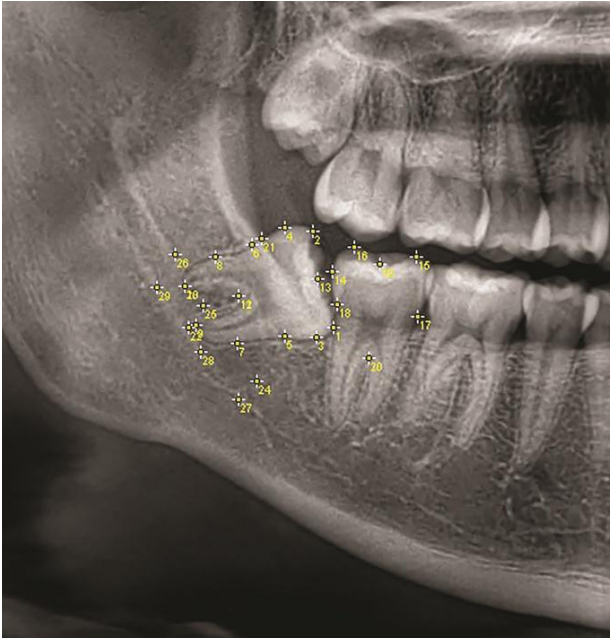


Figure 2 29 landmarks were determined and located by the OMFS.

Tracing the Models

The validation sets of four models were traced by connecting each selected reference point using an automated Python script and were sent to the OMFS. We selected the points that referred to three anatomical structures comprising the mandibular third molar (1 → 3 → 5 → 7 → 9 → 12 → 10 → 8 → 6 → 4 → 2 → 13 → 1), mandibular second molar (15 → 17 → 20 → 18 → 14 → 16 → 19 → 15) and inferior alveolar canal (24 → 25 → 26 and 27 → 28 → 29). Four landmarks which are nos. 11, 21, 22, 23 were excluded for tracing visualization. Then, the accuracy of the superimpositions was categorized into four levels based on criteria established by the OMFS as Acceptable tracing or not, correct side or not and correct superimposition or not. The definition of the categorization is shown in Table 2.

Table 2 The tracing categorization by the OMFS.

Categorization	Definition
Acceptable tracing	The model generates a tracing of all three structures—the mandibular second molar, the mandibular third molar, and the inferior alveolar canal—in proper alignment.
Correct side	The model generates a tracing corresponding to the same side as the teeth and canal in the film
Correct superimposition	The model generates a tracing that matches the position of the teeth and canal in the film

Statistical analysis

Prior to the experiment, inter-observer reliability was established between two OMFS specialists (SY and CP) through the evaluation of 29 landmarks in 15 randomly selected radiographs. Intra-observer reliability was assessed by one OMFS (SY) at 15-day intervals. The intraclass correlation coefficients (ICCs) were then calculated, resulting in values of 0.973 for inter-observer reliability and 0.934 for intra-observer reliability, indicating excellent agreement.

The 29 landmarks were compared between the OMFS and the models using Mean Squared Error (MSE), and Loss function (L_{Total}) were calculated using the following equations:

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \hat{y}_i)^2 \quad (1)$$

Where:

- N is the number of data points
- y_i is the actual value for the i -th data point
- \hat{y}_i is the predicted value for the i -th data point

$$L_{Total} = MSE + \lambda \sum_{j=1}^M |w_j| \quad (2)$$

Where:

- L_{Total} is the overall loss function
- λ is the regularization parameter
- w_j is the parameters of the model

Differences of MSEs among the models were analyzed using one way Analysis of Variance (ANOVA)

followed by the Bonferroni Post hoc test. The tracing results between the models were analyzed using the Chi-square test.

The data were analyzed using SPSS version 29.0 (IBM Corp., Armonk, N.Y., USA). *P*-value < 0.05 indicated statistically significant difference.

Study Protocol and Consent Form Approval

This project was approved by The Human Research Ethics Committee of the Faculty of Dentistry, Chulalongkorn University, Bangkok, Thailand (HREC-DCU 2022-057)

Results

After randomization, the distribution of mandibular third molar in a training set (276 films) were 124, 60, 70 and 22 of mesio-, horizontal, vertical and disto- angulation, respectively. A validation set (67 films) were 31, 14, 15 and 7

of mesio-, horizontal, vertical and disto- angulation, respectively. L_{Total} results of the training and validation sets were shown in Table 3. The L_{Total} for the ResNet50 validation set was 0.001, which shows the best value among other models. The MSEs of AlexNet, ResNet18, ResNet50, and VGG16 were 0.0213 ± 0.0130 , 0.0194 ± 0.0154 , 0.0186 ± 0.0136 and 0.0074 ± 0.0067 , respectively. The MSE results of the validation sets were shown in Figure 3. The MSE of VGG-16 was significantly different from other models. The validation set tracings were evaluated and categorized by the OMFS (Table 4). VGG-16 and AlexNet performed better in the ‘Acceptable tracing’ and ‘Correct side’ categories than ResNet18 and ResNet50. However, none of the models generated a tracing with correct superimposition. Examples of the validation sets categorized by the OMFS are shown in Figure 4.

Table 3 Loss function (L_{Total}) Results of the Training set and Validation Set.

Pretrain Model	Training set	Validation set
VGG16	0.025	0.008
AlexNet	0.027	0.008
ResNet18	0.029	0.008
ResNet50	0.032	0.001

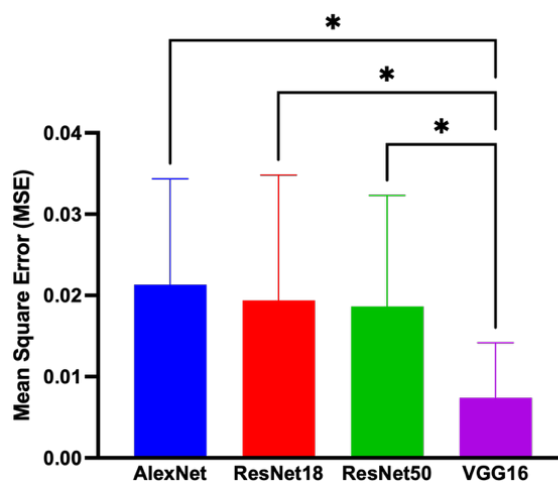


Figure 3 Mean Square Error (MSE) Results of the Validation Set Among Four Models. Asterisk demonstrated significant difference (*p*-value < 0.001)

Table 4 Tracing Results of Validation Sets.

	VGG16	AlexNet	ResNet18	ResNet50
Acceptable Tracing	64 (95.5%) _a	64 (95.5%) _a	66 (98.5%) _a	48 (71.6%) _b
Correct side	65 (97%) _a	66 (98.5%) _a	34 (50.7%) _b	50 (74.6%) _c
Acceptable tracing and correct side	63 (94%) _a	64 (95.5%) _a	33 (49.3%) _b	35 (52.2%) _b
Correct superimposition	0 (0%) _a	0 (0%) _a	0 (0%) _a	0 (0%) _a

Different subscript letters indicate a statistically significant difference between models in the same row (*p* < 0.05).

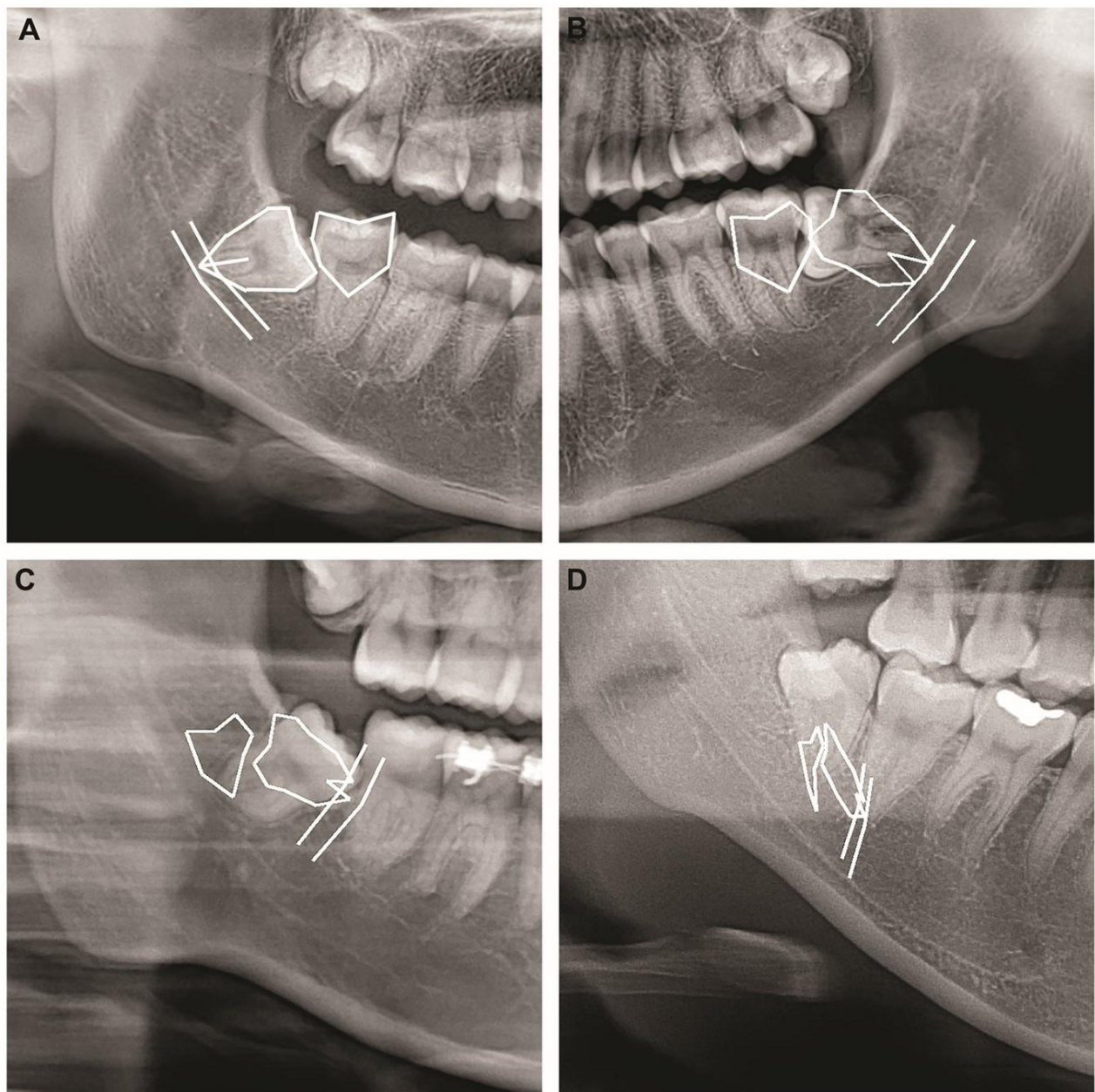


Figure 4 The examples of tracing validation sets categorized by OMFS. Correct superimposition: A gold-standard reference achieved via the OMFS manual landmark determination (A), Acceptable tracing and correct side with incorrect superimposition (B), Acceptable tracing with incorrect side (C), Unacceptable tracing and incorrect side (D).

Discussion

This study introduced innovative anatomical landmarks and anatomical tracing of mandibular third molar and surrounding structures related to surgical difficulty for CNN models to train. This novel method may overcome black-box predictions and enhance clinical utility. All landmarks were established based on significant anatomical markers used in difficulty classification systems.¹⁻³ For instance, Winter's classification utilizes the root furcation

and central pit of the mandibular second and third molars (landmarks 12, 13, 19, 20) to determine angulation. The ramal relationship in the Pell and Gregory classification relies on the mesial and distal widest points of the mandibular third molar crown, as well as the distance from the distal widest point of the second molar crown to the highest point where the anterior ascending ramus crosses the third molar (landmarks 3, 4, 14, 21) to assess

space availability. Additionally, landmarks 9, 10, 22, and 23 are employed to evaluate root formation. While the concept of anatomical landmark identification was inspired by lateral cephalometric tracing^{16,17}, several of these landmarks are prone to geometric distortion, which may increase task complexity. Consequently, utilizing a reduced or hierarchical landmark set may enhance diagnostic performance and clinical interpretability.

The selection of CNN models in this study was informed by previous literature^{9,11} and our available computational resources. Although AlexNet, VGG16, and ResNet were initially designed for image classification, their effectiveness as hierarchical feature extractors is well-established for spatial tasks through transfer learning. These architectures were selected to establish a robust baseline by leveraging proven pre-trained weights; furthermore, their utility extends to landmark-based regression tasks, demonstrating their versatility across diverse computer vision applications.¹⁸

The present study found that ResNet50, in which the L_{Total} of the validation set was 0.001, appeared to be the best CNN model for tracing mandibular third molar impaction compared with AlexNet, ResNet18, and VGG16. However, the MSE of VGG16 is significantly lower value than the other models. Furthermore, the tracing results demonstrated that VGG16 and AlexNet were similar in performance and significantly better than ResNet50. While ResNet18's performance in illustrating molars and IAC is comparable to AlexNet and VGG16, its side identification is inferior. After the researchers verified their performances, the ResNet50 model was found to exhibit signs of overfitting. These findings imply that relying on a single parameter is insufficient to identify the optimal CNN model for analyzing mandibular third molars in real-world scenarios.

VGG16 and AlexNet demonstrated the ability to identify patterns associated with mandibular third molars. Notably, the models correctly categorized the orientation of panoramic radiographs (left vs. right sides) despite the absence of explicit directional labels. The deep learning algorithms consistently identified third molar features across different radiographic equipment types, suggesting potential for standardized dental image

analysis. This autonomous recognition of spatial orientation indicates that the models learned to utilize anatomical landmarks and radiographic cues to determine position, a capability that could assist in streamlining clinical diagnostic workflows. However, none of the models provide a correct superimposition in the validation set. This finding demonstrated that the models trained in this study failed to be applicable in clinical situations.

There were several limitations in this study. First, the sample size was restricted due to unforeseen technical and resource constraints during the model implementation stage; consequently, the dataset remained fixed at 343 images. While the study protocol initially aimed for expansion, the current results represent the finalized analytical framework, and further data augmentation or synthetic expansion could not be performed. Based on previous studies¹⁰⁻¹³, the number of datasets should be over thousand. Second, the datasets had unequal numbers of mesio-, horizontal, vertical and disto-angulated molars, which should be addressed in subsequent studies. However, this class imbalance may not have as significant an impact as the overall small sample size, primarily because this study utilized CNNs for landmark identification and tracing rather than for classification. Lastly, Annotations in this study were performed using the ImageJ program, a method that entails more manual steps for pipeline integration and can be difficult to reproduce. These limitations can be attributed to the inadequate accuracy of the tracing results and will be a subject of investigation in future studies.

The use of anatomical landmarks and tracing was explored to classify the difficulty and visualize mandibular third molars. This approach differs from another study that employed a difficulty scoring system.¹² While their ML demonstrated good accuracy, the concept of difficulty was not truly visualized. Furthermore, this study also incorporates landmarks related to root morphology and the root-IAC relationship. These factors appear to contribute to the perceived difficulty and potential complications, an aspect that might not be fully addressed in other studies.^{10,11} A direct landmark-based regression approach¹⁹ was utilized to obtain discrete geometric coordinates for all 29 landmarks, providing an efficient input for our secondary difficulty

classification. However, it was noted that some landmarks, such as numbers 24 through 29 which define the IAC, represent a continuous anatomical structure. While direct regression is computationally lean, heatmap-based CNN architectures might better preserve the anatomical continuity and spatial relationships of the canal by leveraging local image context.²⁰ Addressing these complex structural dependencies remains a valuable direction for future optimization. To improve clinical reliability, future iterations will transition toward heatmap-based architectures and the implementation of connectivity-preserving loss functions. These methods leverage local image context to ensure that linear structures are predicted as a single, uninterrupted path, providing a more intuitive and reliable visual guide for surgical planning. While heatmap-based architectures often offer superior spatial localization by preserving high-resolution feature maps²¹, coordinate-based regression was chosen due to the specific nature of our landmark identification task. These architectures provide a more direct mapping from global image features to coordinate outputs, thereby reducing computational overhead and post-processing complexity compared to high-resolution heatmap generation.^{22,23}

The inability of the models to generate tracings with correct superimposition represents a notable limitation of this study. Successful superimposition is critical, as it facilitates a comprehensive classification of mandibular third molar impactions and permits the precise evaluation of the molar-ramus relationship, impaction depth, and angulation. Furthermore, such accuracy enables the assessment of other vital diagnostic parameters—specifically root morphology and anatomical proximity to the IAC which are decisive factors in determining surgical difficulty and predicting potential complications. Although this objective was not fully realized within the scope of the present investigation, the findings establish a foundational framework for future longitudinal research.

Conclusion

The current study introduced a new idea for analyzing the mandibular third molars and surrounding structures related to surgical difficulty classifications. However,

the result did not meet expectations. By addressing the limitations, further refinement of the deep learning approach and subsequent studies may achieve more robust and generalizable results. It is suggested to enhance the study by incorporating additional feature extraction engineering. Specifically, this may include the integration of multi-modal data, the utilization of larger and more balanced datasets, and the exploration of advanced model architectures. These improvements are expected to further augment the performance and generalizability of the proposed approach. Additionally, the knowledge gained from this research provides a foundation for future investigations, potentially accelerating progress in this area of study before clinical application can be considered.

Acknowledgements

This research project is supported by grants for development of new faculty staff, Ratchadaphiseksomphot Fund, Chulalongkorn University (DNS-65045320021).

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest.

References

1. Pell G, Gregory B. Impacted mandibular third molars: classification and modified techniques for removal. *Dent Digest* 1933;39:330–8.
2. Winter G. Principles of Exodontia as Applied to the Impacted Mandibular Third Molar : A Complete Treatise on the Operative Technic with Clinical Diagnoses and Radiographic Interpretations. St. Louis: American Medical Books; 1926.
3. Yuasa H, Kawai T, Sugiura M. Classification of surgical difficulty in extracting impacted third molars. *Br J Oral Maxillofac Surg* 2002;40(1):26–31.
4. Alzubaidi L, Zhang J, Humaidi AJ, Al-Dujaili A, Duan Y, Al-Shamma O, *et al.* Review of deep learning: concepts, CNN architectures, challenges, applications, future directions. *J Big Data* 2021;8(1):53.
5. Choi J, Eun H, Kim C. Boosting Proximal Dental Caries Detection via Combination of Variational Methods and Convolutional Neural Network. *J Signal Process Syst* 2018;90(1):87–97.
6. Krois J, Ekert T, Meinhold L, Golla T, Kharbot B, Wittemeier A, *et al.* Deep Learning for the Radiographic Detection of Periodontal Bone Loss. *Sci Rep* 2019;9(1):8495.
7. Khurshid Z, Waqas M, Hasan S, Kazmi S, Faheemuddin M. Deep Learning Architecture to Infer Kennedy Classification of Partially Edentulous Arches Using Object Detection Techniques and Piecewise Annotations. *Int Dent J* 2025;75(1):223–35.

8. Yu HJ, Cho SR, Kim MJ, Kim WH, Kim JW, Choi J. Automated Skeletal Classification with Lateral Cephalometry Based on Artificial Intelligence. *J Dent Res* 2020;99(3):249-56.
9. Celik ME. Deep Learning Based Detection Tool for Impacted Mandibular Third Molar Teeth. *Diagnostics* 2022;12(4):942.
10. Sukegawa S, Matsuyama T, Tanaka F, Hara T, Yoshii K, Yamashita K, et al. Evaluation of multi-task learning in deep learning-based positioning classification of mandibular third molars. *Sci Rep* 2022;12(1):684.
11. Yoo JH, Yeom HG, Shin W, Yun JP, Lee JH, Jeong SH, et al. Deep learning based prediction of extraction difficulty for mandibular third molars. *Sci Rep* 2021;11(1):1954.
12. Trachoo V, Taetragool U, Pianchoopat P, Sukitporn-udom C, Morakrant N, Warin K. Deep Learning for Predicting the Difficulty Level of Removing the Impacted Mandibular Third Molar. *Int Dent J* 2025;75(1):144-50.
13. Chindanuruks T, Jindanil T, Cumpim C, Sinpitaksakul P, Arunjaroenusuk S, Mattheos N, et al. Development and validation of a deep learning algorithm for the classification of the level of surgical difficulty in impacted mandibular third molar surgery. *Int J Oral Maxillofac Surg* 2025;54(5):452-60.
14. Russakovsky O, Deng J, Su H, Krause J, Satheesh S, Ma S, et al. ImageNet Large Scale Visual Recognition Challenge. *Int J Comput Vis* 2015;115(3):211-52.
15. Schneider CA, Rasband WS, Eliceiri KW. NIH Image to ImageJ: 25 years of image analysis. *Nat Methods* 2012;9(7):671-5.
16. Durão APR, Morosolli A, Pittayapat P, Bolstad N, Ferreira AP, Jacobs R. Cephalometric landmark variability among orthodontists and dentomaxillofacial radiologists: a comparative study. *Imaging Sci Dent* 2015;45(4):213-220.
17. Lindner C, Wang C-W, Huang C-T, Li C-H, Chang S-W, Cootes TF. Fully Automatic System for Accurate Localisation and Analysis of Cephalometric Landmarks in Lateral Cephalograms. *Sci Rep* 2016;6(1):33581.
18. Zhao X, Wang L, Zhang Y, Han X, Deveci M, Parmar M. A review of convolutional neural networks in computer vision. *Artif Intell Rev* 2024;57(4):99.
19. Laitenberger F, Scheuer HT, Scheuer HA, Lilienthal E, You S, Friedrich RE. Cephalometric landmark detection using vision transformers with direct coordinate prediction. *J Cranio-Maxillofac Surg* 2025;53(9):1518-29.
20. Payer C, Štern D, Bischof H, Urschler M. Regressing heatmaps for multiple landmark localization using CNNs. In: Ourselin S, Joskowicz L, Sabuncu M, Unal G, Wells W, editors. Medical Image Computing and Computer-Assisted Intervention – MICCAI 2016. Proceedings, Part II; 2016 Oct 17-21; Athens, Greece. Cham: Springer; 2016. p. 230-238. (Lecture Notes in Computer Science; vol. 9901).
21. Bulat A, Tzimiropoulos G. How far are we from solving the 2D & 3D Face Alignment problem? (and a dataset of 230,000 3D facial landmarks). In: Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV); 2017 Oct 22-29; Venice, Italy. IEEE; 2017. p. 1021-1030.
22. Yin S, Wang S, Chen X, Chen E, Liang C. Attentive One-Dimensional Heatmap Regression for Facial Landmark Detection and Tracking. In: Proceedings of the 28th ACM International Conference on Multimedia; 2020 Oct 12-16; Seattle, WA, USA. New York: ACM; 2020. p. 1436-1444.
23. Feng Zhen-Hua, Kittler J, Awais M, Huber P, Wu Xiao-Jun. Wing Loss for Robust Facial Landmark Localisation with Convolutional Neural Networks. In: Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR); 2018 Jun 18-23; Salt Lake City, UT, USA. IEEE; 2018. p. 2235-2244.