

สมบัติเชิงกลของมอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงเปรียบเทียบกับ ลิเทียมไดซิลิเกต: การทบทวนอย่างเป็นระบบและการวิเคราะห์อภิมาน

พรนัท เหมไพบุลย์ น.บ., กรรณิกา ชูเกียรติมน น.บ., พ.บ., MsIT, Cert. in OMS,
สุมนา โพธิ์ศรีทอง น.บ., ปส.ด., ว.น.

สถาบันทันตกรรม ตำบลตลาดขวัญ อำเภอเมือง จังหวัดนนทบุรี 11000

The Mechanical Properties of Translucency Monolithic Zirconia vs Lithium Disilicate: A Systematic Review and Meta-analysis

Phornnalat Hamepaiboon, D.D.S., Kannika Chukiatmun, D.D.S., M.D., MsIT, Cert. in OMS.,
Sumana Posritong, D.D.S., MSD., Ph.D

Institute of Dentistry, Talad Khwan, Mueang, Nonthaburi, 11000, Thailand

(E-mail: sposritong@yahoo.com)

(Received: 15 May, 2023; Revised: 3 July, 2023; Accepted: 26 October, 2023)

Abstract

Background: Patients' demand for esthetic dentistry is increasing. Translucency monolithic zirconia is developed to be the material of choice in term of esthetics besides from lithium disilicate. **Objective:** To synthesize research findings and a meta-analysis on the mechanical properties of translucent zirconia monolithic versus lithium disilicate materials. **Methods:** Systematic searching for relevant research on the PubMed, open-access and Google Scholar, as well as conducting manual searches were done. Only articles in English or Thai from 2011 to 2021 were taken. The meta-analysis of flexural strength, fracture resistance, and fracture toughness was performed from 11 accepted publications. **Results:** Translucency monolithic zirconia had a statistically significant higher flexural strength than lithium disilicate, but the result was inconclusive due to the lack of data homogeneity ($I^2=97.8\%$). Translucency monolithic zirconia also shown statistically significant higher fracture toughness and fracture resistance than lithium disilicate, but the result was inconclusive due to the lack of homogeneity in the data ($I^2=96.3\%$, $I^2=86.9\%$) and insufficient studies. **Conclusion:** Translucent monolithic zirconia is the material of choice for esthetics in high biting forces area or patients with parafunctional habits, however; further high-quality studies are required.

Keywords: Lithium disilicate, Mechanical properties, Monolithic zirconia, Translucency zirconia

บทคัดย่อ

ภูมิหลัง: ปัจจุบันความต้องการด้านความงามทางทันตกรรมของผู้ป่วยเพิ่มขึ้น มอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงจึงถูกพัฒนาขึ้นเป็นวัสดุทางเลือกในการบูรณะฟันที่ต้องการความสวยงามนอกเหนือไปจากลิเทียมไดซิลิเกต **วัตถุประสงค์:** เพื่อรวบรวมผลการศึกษาและวิเคราะห์อภิมานเรื่อง สมบัติเชิงกลของมอนอลิธิคเซอร์

โคเนียชนิดโปร่งแสงเปรียบเทียบกับลิเทียมไดซิลิเกต **วิธีการ:** สืบค้นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องอย่างเป็นระบบจากฐานข้อมูล PubMed, open access และ Google Scholar ร่วมกับการค้นหาด้วยมือ นำมาเฉพาะบทความภาษาอังกฤษหรือภาษาไทยตั้งแต่ปี ค.ศ. 2011 ถึง ปี ค.ศ. 2021 และนำมาวิเคราะห์อภิมานเรื่องค่าความทนแรงดัด ความทนทานต่อการแตกหัก และความต้านทานต่อ

การแตกหักของวัสดุ จาก 11 บทความที่ได้รับการยอมรับ

ผล: มอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงมีความทนแรงดัดมากกว่าลิเทียมไดซิลิเกตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อาจยังไม่สามารถสรุปได้เนื่องจากข้อมูลขาดความเป็นเนื้อเดียวกันสูง ($I^2=97.8\%$) และพบว่า มอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงมีความทนทานต่อการแตกหัก และความต้านทานต่อการแตกหักมากกว่าลิเทียมไดซิลิเกตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อาจยังไม่สามารถสรุปได้เนื่องจากข้อมูลขาดความเป็นเนื้อเดียวกันสูง ($I^2=96.3\%$, $I^2=86.9\%$) และการศึกษายังไม่มากพอ

สรุป: มอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง เป็นวัสดุทางเลือกในการใช้บูรณะฟันเพื่อความสวยงามในบริเวณที่ต้องรับแรงบดเคี้ยวสูงหรือผู้ป่วยที่มีนิสัยทำงานนอกหน้าที่ของระบบบดเคี้ยว แต่ยังคงต้องการการศึกษาที่มากขึ้น

คำสำคัญ: ลิเทียมไดซิลิเกต, คุณสมบัติเชิงกล, มอนอลิธิคเซอร์โคเนีย, เซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง

บทนำ

ในปัจจุบัน ผู้ป่วยให้ความสำคัญด้านความสวยงามในงานทันตกรรมเพิ่มขึ้น ทำให้การใช้วัสดุสีเหมือนฟันธรรมชาติเป็นที่นิยมเซรามิก (ceramics) ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในทางทันตกรรม เนื่องจากมีความสวยงาม ความเสถียรทางเคมี (chemical stability) และความเข้ากันได้ทางชีวภาพ (biocompatibility) ทำให้เซรามิกได้รับความนิยมในการใช้บูรณะฟัน^{1, 2} เซรามิกทางทันตกรรมที่ได้รับความนิยมในปัจจุบันมี 2 ชนิด คือ ลิเทียมไดซิลิเกต (lithium disilicate) และเซอร์โคเนีย (zirconia) ซึ่งลิเทียมไดซิลิเกตมีความโปร่งแสง (translucency) มากกว่าเซอร์โคเนีย แต่มีสมบัติเชิงกลที่ต่ำกว่า โดยมีความแข็งแรง (strength) ประมาณร้อยละ 40 ของเซอร์โคเนีย และมีความทนทานต่อการแตกหัก (fracture toughness) ประมาณร้อยละ 57 ของเซอร์โคเนีย³⁻⁵ แต่ปัญหาสำคัญของเซอร์โคเนีย คือ ความทึบแสง (opaque) ทำให้ไม่สวยงาม จึงมีความพยายามที่จะแก้ไขความทึบแสงนี้โดยการผลิตเป็นครอบฟันเซอร์โคเนียติดหน้า (veneered zirconia crown) ทำให้มีความสวยงามมากขึ้นแต่กลับพบอัตราการกะเทาะของพอร์ซเลน (porcelain chipping) ในครอบฟันเซอร์โคเนียติดหน้าได้สูงถึงร้อยละ 54 ต่อปี⁶⁻⁸ จึงมีการพัฒนาเซอร์โคเนียขึ้นในรูปแบบมอนอลิธิค (monolithic)⁸ ซึ่งมีการเตรียมฟัน (tooth preparation) น้อยกว่าจึงอนุรักษ์เนื้อฟันได้มากกว่าครอบฟันเซอร์โคเนียติดหน้า อีกทั้งมีค่าใช้จ่ายที่ต่ำกว่า และสามารถลดปัญหาการกะเทาะของ

พอร์ซเลนในครอบฟันเซอร์โคเนียติดหน้าได้ นอกจากนี้ยังมีการแก้ไขความทึบแสงของเซอร์โคเนียอีกหลากหลายวิธีเพื่อให้มอนอลิธิคเซอร์โคเนียมีความโปร่งแสงเพิ่มมากขึ้น ทั้งการลดรูพรุน การเติมวัฏภาคแก้ว (glassy phase) การเติมสารเติมแต่งในการเผาซินเทอร์ (sintering additives)¹⁰ รวมถึงการเพิ่มปริมาณอิตเทรีย (yttria) ในเซอร์โคเนีย¹¹ โดยการเพิ่มปริมาณอิตเทรียในเซอร์โคเนีย ทำให้โครงสร้างผลึกลูกบาศก์ (cubic phase) เพิ่มขึ้น ส่งผลให้วัสดุมีความโปร่งแสงมากขึ้น โดยทั่วไปจะเติมร้อยละ 3 โดยโมล (3Y-TZP) ต่อมาบริษัทผู้ผลิตมีการนำเสนอวัสดุที่มีความโปร่งแสงสูงขึ้น โดยประกอบไปด้วย อิตเทรียร้อยละ 4 โดยโมล และร้อยละ 5 โดยโมลของอิตเทรีย-ออกไซด์ (4Y-TZP และ 5Y-TZP) โดยข้อบ่งชี้ในการใช้เซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงสูงนั้นสามารถใช้บูรณะได้ทั้งในบริเวณฟันหน้าและฟันหลัง เนื่องจากมีความโปร่งแสงเพิ่มขึ้น แต่ยังคงความแข็งแรงของวัสดุไว้^{11, 12} อย่างไรก็ตามการที่มีปริมาณอิตเทรียเพิ่มขึ้น อาจส่งผลต่อความแข็งแรงทั้งหมดของวัสดุได้ ซึ่ง Michele และคณะในปี ค.ศ. 2016 พบว่าความโปร่งแสงของวัสดุและค่าความทนแรงดัดมีผลที่แปรผกผันกัน กล่าวคือวัสดุที่มีความโปร่งแสงสูงจะมีค่าความทนแรงดัดต่ำ โดยพบว่าเซอร์โคเนียสามัญนิยม (conventional zirconia) มีค่าความทนแรงดัดสูงสุด รองลงมาคือเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง 3Y-TZP, 5Y-TZP และลิเทียมไดซิลิเกตมีค่าความทนแรงดัดต่ำสุด¹³ ในปี ค.ศ. 2018 Shereen และคณะ เปรียบเทียบค่าความทนแรงดัด พบว่าเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง 3Y-TZP มีค่าความทนแรงดัดสูงกว่าเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง 5Y-TZP ซึ่งแสดงให้เห็นว่ามอนอลิธิคเซอร์โคเนียที่มีความโปร่งแสงสูงมีสมบัติเชิงกลต่ำกว่าวัสดุที่มีความโปร่งแสงน้อยกว่า¹⁴ โดยค่าความทนแรงดัดของเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง 5Y-TZP (720 เมกะปาสคาล) เพียงพอต่อการบูรณะบริเวณฟันหน้าทั้งแบบครอบฟันเดี่ยวและทันตกรรมประดิษฐ์ติดแน่นช่วงสั้น (short span fixed dental prostheses)^{14, 15} และยังมีค่าความทนแรงดัดสูงกว่าลิเทียมไดซิลิเกต^{13, 14} ในปี ค.ศ. 2019 Hemdan และคณะ ได้ทำการศึกษานอกกาย (in vitro) พบว่าครอบฟันมอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงมีความต้านทานต่อการแตกหักสูงกว่าครอบฟันมอนอลิธิคลิเทียมไดซิลิเกต¹⁶ ในขณะที่ Zhang และคณะทำการศึกษานอกกาย พบว่าไม่มีความแตกต่างเรื่องความต้านทานต่อการแตกหักอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติระหว่าง 3Y-TZP และ 4Y-TZP โดยที่ 5Y-TZP มีความต้านทานต่อการแตกหักต่ำกว่า 3Y-TZP และ 4Y-TZP แต่ไม่แตกต่าง

อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติกับลิเทียมไดซิลิเกต¹⁷

จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่ายังไม่มี การทบทวนอย่างเป็นระบบและวิเคราะห์อภิมานในเรื่องสมบัติเชิงกลของมอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงเปรียบเทียบกับลิเทียมไดซิลิเกต การศึกษานี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนอย่างเป็นระบบและวิเคราะห์อภิมานหลักฐานทางวิชาการถึงสมบัติเชิงกลของมอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง ได้แก่ ค่าความทนแรงดัด ความทนทานต่อการแตกหัก และความต้านทานต่อการแตกหักโดยเปรียบเทียบกับลิเทียมไดซิลิเกต

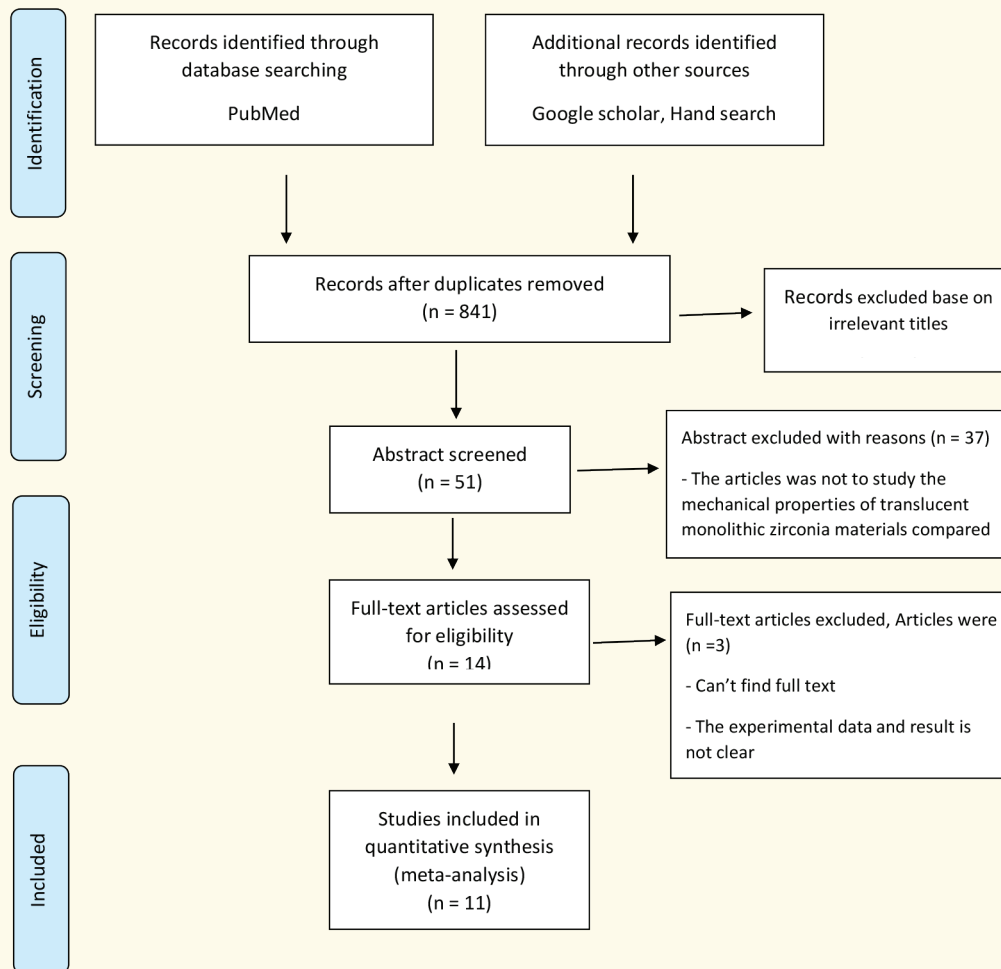
วัตถุประสงค์และวิธีการ

1. การรวบรวมข้อมูล ได้รวบรวมบทความจากฐานข้อมูล PubMed โดยการสืบค้นอย่างเป็นระบบด้วยกลยุทธ์การสืบค้นข้อมูล (search strategies) ดังนี้ “Monolithic zirconia or Full contour zirconia and translucency or translucent or high translucent or cubic tetragonal or 3Y-TZP or 4Y-TZP or 5Y-TZP and lithium disilicate or EMAX and mechanical or flexural strength or fracture toughness or fracture resistance” ร่วมกับการสืบค้นจากฐานข้อมูล Google Scholar โดยใช้ keywords ได้แก่ “mechanical properties”, translucency, “monolithic zirconia”, “lithium disilicate” ซึ่งนำมาเฉพาะบทความภาษาอังกฤษหรือภาษาไทยตั้งแต่ ปี ค.ศ. 2011 ถึงปี ค.ศ. 2021 และใช้เกณฑ์ในการคัดเลือกงานวิจัยเข้าการศึกษา (Inclusion criteria) คือ งานวิจัยเป็นภาษา

อังกฤษและภาษาไทยเท่านั้น งานวิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อการศึกษาสมบัติเชิงกลของมอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาสมบัติเชิงกลของมอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงเปรียบเทียบกับลิเทียมไดซิลิเกต และงานวิจัยที่มีการระบุระเบียบวิธีการศึกษาชัดเจน กำหนดมาตรฐานในการเตรียมชิ้นงาน ระบุวิธีการวัดผลและระบุข้อมูลจำนวนวัสดุที่ใช้เป็นกลุ่มตัวอย่างในการศึกษาชัดเจนทั้งกลุ่มควบคุมและกลุ่มทดลอง และงานวิจัยที่มีการแสดงผลการศึกษาชัดเจน ส่วนเกณฑ์ในการคัดเลือกรายงานวิจัยออกจากการศึกษา (Exclusion criteria) คือ งานวิจัยที่ไม่สามารถหาเอกสารฉบับเต็มได้ งานวิจัยที่ไม่ได้ศึกษาสมบัติเชิงกลของมอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงเปรียบเทียบกับลิเทียมไดซิลิเกต และงานวิจัยที่ข้อมูลไม่ชัดเจน ได้แก่ ไม่ระบุลักษณะวัสดุซึ่งเป็นกลุ่มตัวอย่างที่ชัดเจน, ไม่มีมาตรฐานในการเตรียมชิ้นงาน, ไม่ระบุตัวชี้วัดที่แน่ชัด

2. การทบทวนบทความ ผู้ทบทวน (reviewer) 2 คน อ่านบทความอย่างเป็นอิสระต่อกัน (PH และ SP) ตั้งแต่ขั้นตอนคัดชื่อเรื่องและบทความที่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดจะถูกนำมาประเมินตามขั้นตอนการทบทวน (critical appraisal) ซึ่งประกอบด้วย การทบทวนบทความ การดึงข้อมูลจากบทความ และการประเมินคุณภาพของบทความ โดยการคัดเลือกเป็นอิสระต่อกัน หากความคิดเห็นที่ขัดแย้งระหว่างผู้ทบทวน 2 คน จะถูกแก้ไขได้โดยการอภิปรายและตกลงกันเป็นเอกฉันท์ (รูปที่ 1)

รูปที่ 1 ขั้นตอนการทบทวนอย่างเป็นระบบใน Prisma flow template



3. การดึงข้อมูลจากบทความ ใช้ผลลัพธ์จากการทดสอบสมบัติเชิงกลของมอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง ได้แก่ ค่าความทนแรงดัด ความทนทานต่อการแตกหัก และความต้านทานต่อการแตกหัก โดยกลุ่มทดลองเป็นกลุ่มมอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง ส่วนกลุ่มควบคุมเป็นกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ข้อมูลที่รวบรวมจะเป็นค่าเฉลี่ย ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าความทนแรงดัด ความทนทานต่อการแตกหัก และความต้านทานต่อการแตกหักของวัสดุ

4. คุณภาพของบทความ การประเมินคุณภาพของบทความที่ได้รับการยอมรับโดยผู้ทบทวนทั้งสองคนอย่างเป็นอิสระต่อกัน จากนั้นผู้วิจัยประเมินคุณภาพของงานวิจัยตามแนวทางของ Cochrane risk of bias¹⁸ ตาม PRISMA guideline การยอมรับคุณภาพบทความใช้ฉันทามติผู้ทบทวนทั้งสองคน และแสดงผลการประเมินออกตางานวิจัยเป็นตารางผลการประเมินออกตางานวิจัย (Cochrane Risk Bias tool-ROBINS-I)

5. สถิติที่ใช้ การศึกษาครั้งนี้ ข้อมูลที่ได้เป็นผลจากการศึกษาภายนอกอยู่ในรูปแบบตัวแปรต่อเนื่อง และรายงาน

เป็นค่าเฉลี่ยและค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของสมบัติเชิงกลของมอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง กับลิเทียมไดซิลิเกต การแสดงผลการวิเคราะห์ห่อถักมานำมาคำนวณ pooled differential variation ของสมบัติเชิงกลของมอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง ได้แก่ ค่าความทนแรงดัด ความทนทานต่อการแตกหัก และความต้านทานต่อการแตกหัก โดยคำนวณ standard mean difference (SMD) ที่ระดับความเชื่อมั่น (confidence interval) เท่ากับร้อยละ 95 ใช้ random effects models นำเสนอผลการรวมข้อมูล (pooled estimate) ในรูปกราฟ forest plot การศึกษาครั้งนี้ใช้ค่า Cochran statistic (Q-statistic) และค่า percentage of inconsistency index (I²) เพื่อวัดความไม่เป็นเนื้อเดียวกัน (heterogeneity) นำเสนอผลด้วย Funnel plot และตรวจสอบอคติจากการตีพิมพ์ด้วยการทดสอบสถิติ Begg's test และการทดสอบสถิติ Egger's test ซึ่งการวิเคราะห์นี้ใช้โปรแกรม Stata 11.2

ผล

จากบทความที่ได้รับการยอมรับจากผู้ทบทวนเป็นเอกฉันท์จำนวน 11 บทความ (รูปที่ 1) มีขนาดตัวอย่างมากที่สุดคือ 20 ตัวอย่าง และน้อยที่สุดคือ 5 ตัวอย่าง การประเมินอคติงานวิจัยจากทั้ง 11 การศึกษา พบว่า

ทุกการศึกษาเป็นการศึกษาที่มีอคติ โดยพบว่า 9 การศึกษามีอคติต่ำ (low risk of bias) และไม่ชัดเจน (unclear risk) รวมด้วย และอีก 2 การศึกษามีทั้ง อคติต่ำ ไม่ชัดเจน และอคติสูง (high risk of bias) รวมด้วย (รูปที่ 2)

		Risk of bias domains							
		D1	D2	D3	D4	D5	D6	D7	Overall
Study	Johansson C,2014	-	-	-	-	+	-	+	-
	Zhang Y,2016	-	-	-	+	+	-	+	-
	Church TD,2017	+	-	+	-	+	-	+	-
	Carrabba,2017	+	-	+	+	+	-	+	-
	Kwon SJ,2018	-	X	-	+	+	-	+	X
	Moaty M,2018	+	-	-	-	+	-	+	-
	Nassary Zadeh P,2018	-	-	-	+	+	-	+	-
	Hemdan S,2019	-	-	-	+	+	+	+	-
	Zhang F,2019	-	-	-	-	+	-	+	-
	Kim HK,2020	X	X	X	-	+	-	X	X
Reale Reyes A,2021	-	+	+	-	+	+	-	-	

Domains:
D1: Bias due to conlounding.
D2: Bias due to selection of participants.
D3: Bias in classification of interventions.
D4: Bias due to deviations from imended interventions.
D5: Bias due to missing data.
D6: Bias in measurement of outcomes.
D7: Bias in selection of the reported result

Judgement
X Serious
- Moderate
+ Low

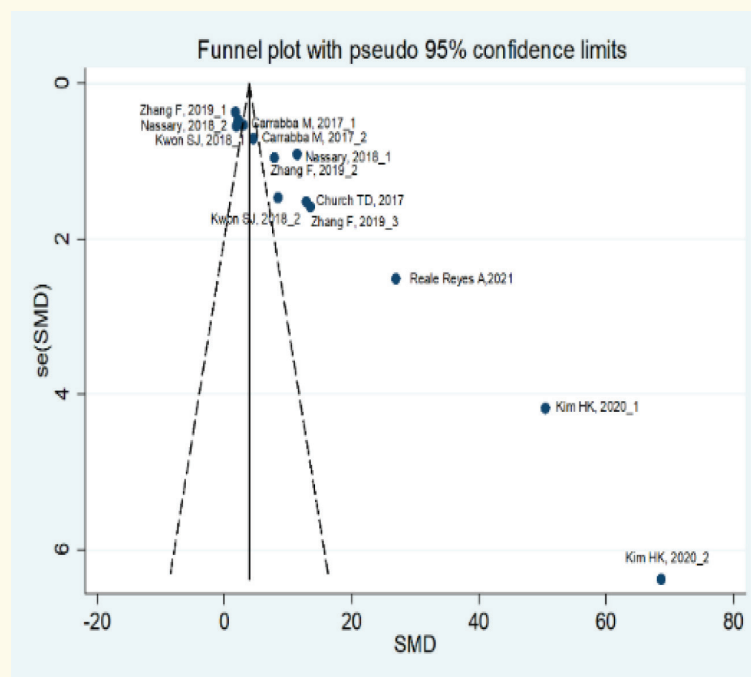
รูปที่ 2 ผลการประเมินอคติงานวิจัย (Cochrane Risk Bias tool-ROBINS-I)

ความทนแรงตัด จากการวิเคราะห์ 7 บทความ ที่ศึกษาค่าความทนแรงตัดของมอนอลิธิเซอร์โคเนีย ชนิดโปร่งแสงเปรียบเทียบกับลิเทียมไดซิลิเกต เมื่อดูค่า $I^2=97.8\%$ และ $p < .001$ แปลผลได้ว่าการศึกษานำมารวมกันนั้นมีความต่างแบบปรากฏอย่างชัดเจน เมื่อดูผลรวมของขนาดอิทธิพล (effect size) ค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 12.537 (95% CI 9.552, – 15.522, $p < .001$) แปลผลได้ว่า มอนอลิธิเซอร์โคเนีย

ชนิดโปร่งแสงมีค่าความทนแรงตัดมากกว่าลิเทียมไดซิลิเกตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อาจยังไม่สามารถสรุปได้เนื่องจากข้อมูลขาดความเป็นเนื้อเดียวกันสูง ($I^2=97.8\%$) และการศึกษายังมีไม่มากพอ (ตารางที่ 1) และเมื่อตรวจสอบอคติจากการตีพิมพ์ด้วย Funnel plot พบว่ากราฟที่ได้ไม่มีความสมมาตร ซึ่งแสดงถึงภาวะที่อาจจะมีอคติจากการตีพิมพ์ (รูปที่ 3)

ตารางที่ 1 Summary of finding

SoF Table: The mechanical property properties of translucency monolithic zirconia and VS lithium disilicate				
Patients or population: monolithic zirconia Intervention: translucency processing Comparison: lithium disilicate				
Outcomes	Impact	Pooled SMD (95% CI)	Number of participants (Studies)	Certainty of the evidence (GRADE)*
Flexural strength	Translucency monolithic zirconia was more flexural strength than lithium disilicate with statistically significant	SMD = 12.537 (95% CI 9.552 – 15.522, P<.001)	7 studies	⊕⊕⊕⊕ Very low
Fracture toughness	Translucency monolithic zirconia was more fracture toughness than lithium disilicate with statistically significant	SMD = 3.684 (95% CI 1.408 – 5.961, p=.002)	2 studies	⊕⊕⊕⊕ Very low
Fracture resistance	Translucency monolithic zirconia was more fracture resistance than lithium disilicate with statistically significant	SMD = 7.723 (95% CI 4.115 – 11.332, P<.001)	4 studies	⊕⊕⊕⊕ low
* GRADE Working Group grades of evidence High = This research provides a very good indication of the likely effect. The likelihood that the effect will be substantially different† is low. Moderate = This research provides a good indication of the likely effect. The likelihood that the effect will be substantially different† is moderate. Low = This research provides some indication of the likely effect. However, the likelihood that it will be substantially different† is high. Very low = This research does not provide a reliable indication of the likely effect. The likelihood that the effect will be substantially different† is very high. † Substantially different = a large enough difference that it might affect a decision				



รูปที่ 3 Funnel plot ค่าความทนแรงดัด

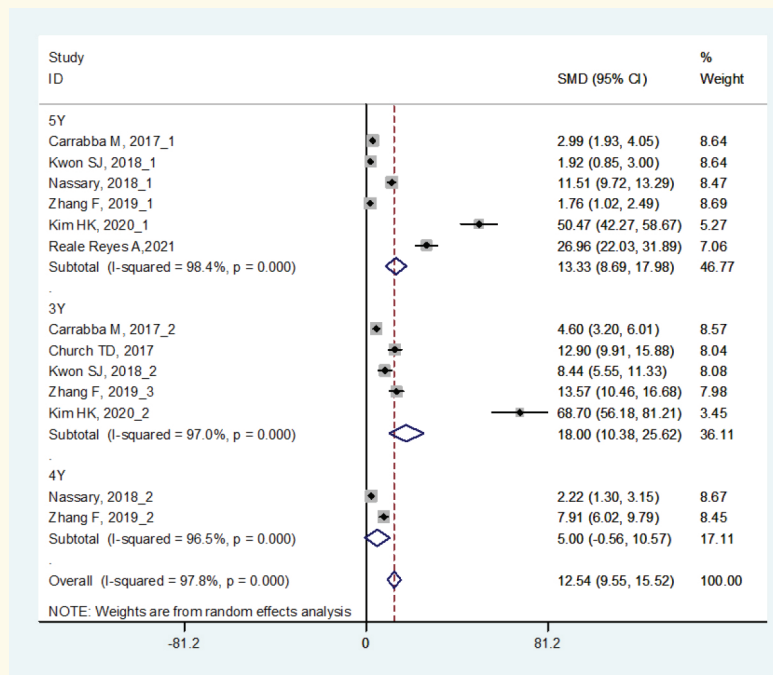
การตรวจสอบอคติจากการตีพิมพ์ พบว่า การทดสอบด้วย Begg's test ได้ค่า p-value < .001 แปลความหมายเบื้องต้นได้ว่ามีหลักฐานของอคติจากการตีพิมพ์ ส่วนผลจากการทดสอบด้วย Egger's test ได้ค่า p-value < .001 แปลความหมายเบื้องต้นได้ว่า มีหลักฐานของอิทธิพลของ

การศึกษาที่มีกลุ่มตัวอย่างน้อย (small study effect) ต่อผลรวมของการศึกษา

เมื่อทำการวิเคราะห์ผลแยกเป็นรายกลุ่ม (subgroup analysis) เปรียบเทียบระหว่างกลุ่มทดลองคือมอโนลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปรงแสง 3Y-TZP 5 การศึกษา

($I^2=97.0\%$, $p < .001$) มอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง 4Y-TZP 2 การศึกษา ($I^2=96.5\%$, $p < .001$) และมอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง 5Y-TZP 6 การศึกษา ($I^2=98.4\%$, $p < .001$) พบว่าการศึกษาที่นำมารวมนั้นมีความต่างแบบปรากฏอย่างชัดเจน เมื่อดูผลรวมของขนาดอิทธิพลในกลุ่มมอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง 3Y-TZP และ 5Y-TZP พบว่ามีค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมาตรฐานเท่ากับ 17.996 และ 13.335 ตามลำดับ แปลผลได้ว่ามอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง 3Y-TZP และ 5Y-TZP

มีค่าความทนแรงดัดมากกว่ากลุ่มควบคุมหรือลิเทียมไดซิลิเกตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่มอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง 4Y-TZP มีค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมาตรฐานเท่ากับ 5.004 (95% CI -0.562, 10.569, $p=.078$)ซึ่งมีค่าความทนแรงดัดมากกว่าลิเทียมไดซิลิเกตอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อาจยังไม่สามารถสรุปได้เนื่องจากข้อมูลขาดความเป็นเนื้อเดียวกันสูง และการศึกษายังไม่มากพอ ($I^2=96.5\%$) (รูปที่ 4)



รูปที่ 4 Forest plot ผลต่างค่าเฉลี่ยมาตรฐานของค่าความทนแรงดัด (การวิเคราะห์ผลแยกเป็นรายกลุ่ม)

ความทนทานต่อการแตกหัก ผลการวิเคราะห์ 2 บทความที่ศึกษาความทนทานต่อการแตกหักของมอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงเปรียบเทียบกับลิเทียมไดซิลิเกตพบว่า ค่า $I^2=96.3\%$ และ $p < .001$ แสดงว่า 2 การศึกษาที่นำมารวมนั้นมีความต่างแบบปรากฏอย่างชัดเจน เมื่อดูผลรวมของขนาดอิทธิพลคือ ค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมาตรฐานมีค่าเท่ากับ 3.684 (95% CI 1.408, 5.961, $p = .002$) แปลผลได้ว่ามอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงมีความทนทานต่อการแตกหักมากกว่าลิเทียมไดซิลิเกตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อาจยังไม่สามารถสรุปได้เนื่องจากข้อมูลขาดความเป็นเนื้อเดียวกันสูง ($I^2=96.3\%$) และมีการศึกษายังไม่มากพอ (ตารางที่ 1) และเมื่อตรวจสอบอคติจากการตีพิมพ์ พบว่าอาจจะมียอคติจากการตีพิมพ์ และเมื่อทดสอบด้วย Begg's test ได้ค่า p-value เท่ากับ .174 แปลความหมายเบื้องต้นได้ว่าไม่มีหลักฐานของอคติจากการตีพิมพ์ ส่วนผลจากการทดสอบด้วย Egger's test

ได้ค่า p-value เท่ากับ .117 แปลความหมายเบื้องต้นได้ว่า ไม่มีหลักฐานของอิทธิพลของการศึกษาที่มีกลุ่มตัวอย่างน้อยต่อผลรวมของการศึกษา

ความต้านทานต่อการแตกหัก ผลการวิเคราะห์พบว่าการศึกษทั้ง 4 การศึกษาที่นำมารวมนั้นมีความต่างแบบปรากฏอย่างชัดเจน ($I^2=86.9\%$ และ $p < .001$) เมื่อดูผลรวมของขนาดอิทธิพล นั่นคือ ค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมาตรฐาน มีค่าเท่ากับ 7.723 (95% CI 4.115, 11.332, $p < .001$) แปลผลได้ว่ามอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงมีความต้านทานต่อการแตกหักมากกว่าลิเทียมไดซิลิเกตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อาจยังไม่สามารถสรุปได้เนื่องจากข้อมูลขาดความเป็นเนื้อเดียวกันสูง ($I^2=86.9\%$) และมีการศึกษายังไม่มากพอ (ตารางที่ 1) และเมื่อตรวจสอบอคติจากการตีพิมพ์ พบว่าอาจจะมียอคติจากการตีพิมพ์ โดยเมื่อทดสอบด้วย Begg's test ได้ค่า p-value เท่ากับ .142 แปลความหมายเบื้องต้นได้ว่าไม่มีหลักฐานของ

อคติจากการตีพิมพ์ ส่วนผลจากการทดสอบด้วย Egger's test ได้ค่า p-value เท่ากับ .095 แปลความหมายเบื้องต้นได้ว่า ไม่มีหลักฐานของอิทธิพลของการศึกษาที่มีกลุ่มตัวอย่างน้อยต่อผลรวมของการศึกษา เมื่อทำการวิเคราะห์ผลแยกเป็นรายกลุ่มเปรียบเทียบระหว่างมอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงที่มีการยึดด้วยซีเมนต์ (cementation) และผ่านการทำเทอร์โมไซคลิ่ง (thermocycling) ซึ่งมีทั้งหมด 2 การศึกษาพบว่า ค่า $I^2=13.3\%$ และ $p = .283$ แปลผลได้ว่าการศึกษาที่นำมา รวมกันนั้นพอรวมกันได้ เนื่องจากความต่างแบบที่พบนั้น ไม่มีความต่างอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ เมื่อดูผลรวมของ ขนาดอิทธิพล นั่นคือ ค่าผลต่างค่าเฉลี่ยมาตรฐาน มีค่า เท่ากับ 9.274 (95% CI 6.803, 11.744, $p < .001$) แปลผล ได้ว่า กลุ่มมอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงที่มีการ ยึดด้วยซีเมนต์และผ่านการทำเทอร์โมไซคลิ่งมีความ ต้านทานต่อการแตกหักมากกว่ากลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบ มอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงที่มีการยึดด้วย ซีเมนต์ โดยไม่ผ่านการทำเทอร์โมไซคลิ่ง 3 การศึกษานั้น พบว่า $I^2=87.0\%$ และ $p < .001$ นั่นคือการศึกษานำมา รวมกันนั้นมีความต่างแบบปรากฏอย่างชัดเจน โดยค่าผล ต่างค่าเฉลี่ยมาตรฐานเท่ากับ 6.778 (95% CI 2.140, 11.416, $p = .004$) แปลผลได้ว่า มอนอลิธิคเซอร์โคเนีย ชนิดโปร่งแสงที่มีการยึดด้วยซีเมนต์ โดยไม่ผ่านการทำ เทอร์โมไซคลิ่ง มีความต้านทานต่อการแตกหักมากกว่า กลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อาจยัง ไม่สามารถสรุปได้ เนื่องจากข้อมูลขาดความเป็นเนื้อ เดียวกันสูง ($I^2=87.0\%$) และมีการศึกษาอย่างไม่มากพอ

วิจารณ์

จากการวิเคราะห์หอคอยครั้งนี้ เมื่อพิจารณาความ ทนแรงดัดแล้วนั้น พบว่ากลุ่มมอนอลิธิคเซอร์โคเนีย ชนิดโปร่งแสงมีค่าความทนแรงดัดมากกว่ากลุ่มลิเทียม ไดซิลิเกตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ ซึ่งสอดคล้องกับการ ทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบโดย Fathy และคณะ ในปี ค.ศ. 2021¹⁹ ที่พบว่ามอนอลิธิคเซอร์โคเนียชนิด โปร่งแสง 3Y-TZP และ 5Y-TZP มีค่าความทนแรงดัด มากกว่ากลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต ซึ่งลิเทียมไดซิลิเกตมีข้อ จำกัดในการบูรณะฟันในบริเวณที่ต้องรับแรงบดเคี้ยว สูงและในผู้ป่วยที่มีข้อจำกัดของนิสัยทำงานนอกหน้าที่ ของระบบบดเคี้ยว (parafunctional habit) ดังนั้น การเลือกใช้ลิเทียมไดซิลิเกตก็อาจจะเป็นทางเลือกที่ไม่ เหมาะสมมากนัก เนื่องจากพบว่าผู้ป่วยที่มีภาวะขบแน่นฟัน

(clenching) จะมีแรงที่เกิดจากการขบแน่นสูง ตั้งแต่ 244- 1243 นิวตัน ในขณะที่แรงบดเคี้ยวบริเวณพื้นหน้าของ ผู้ป่วยปกติเพียง 90-340 นิวตัน²⁰ มอนอลิธิคเซอร์โคเนีย ชนิดโปร่งแสง ซึ่งมีสมบัติเชิงกลที่ดีและมีความโปร่งแสง จึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจในการนำมาใช้บูรณะฟันในผู้ป่วยที่ มีข้อจำกัดดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามการวิเคราะห์หอคอย ในครั้งนี้พบว่าจำนวนตัวอย่างของแต่ละการศึกษา และ จำนวนการศึกษาที่อาจยังมีไม่มากพอ ร่วมกับข้อมูลยัง ขาดความเป็นเนื้อเดียวกันสูง ($I^2=97.8\%$) ซึ่งอาจเกิด จากข้อมูลที่นำมาวิเคราะห์หอคอยแต่ละการศึกษานั้นมี การรวบรวมเป็นค่าเฉลี่ยของวัสดุหลากหลายผลิตภัณฑ์ ส่งผลให้ข้อมูลขาดความเป็นเนื้อเดียวกัน จึงยังไม่สามารถ หาข้อสรุปที่แน่นอนได้ โดยการวิเคราะห์หอคอยให้ได้ผล ที่มีประสิทธิภาพนั้น จำเป็นต้องมีจำนวนการศึกษาที่ มากกว่านี้ รวมถึงมีการออกแบบให้มีจำนวนตัวอย่างที่ มากขึ้นและมีคุณภาพสูง ไม่มีอคติ และในอนาคตควรจะ ต้องมีการรวบรวมผลการศึกษามากกว่าหลายประเภท มากขึ้น เพื่อหาผลสรุปของสมบัติเชิงกลของมอนอลิธิค เซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงเปรียบเทียบกับลิเทียมไดซิลิเกต ต่อไป

โดยจากการศึกษาความทนแรงดัดของมอนอลิธิค เซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงเปรียบเทียบกับลิเทียมไดซิลิเกต ครั้งนี้พบว่าอาจจะมีอคติจากการตีพิมพ์ซึ่งอาจเกิดได้จาก การวิเคราะห์ข้อมูลจาก 7 บทความที่ถือว่ามีความน้อย ทำให้ไม่มีกำลัง (power) ในการทดสอบทางสถิติ โดย ในการประเมินอคติการศึกษาของ Kim และคณะ ในปี ค.ศ. 2020²¹ และ Kwon และคณะ ในปี ค.ศ. 2018²² พบว่า ข้อมูลที่ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์หอคอยนั้นมี domain ที่มีอคติสูง (high risk of bias) ร่วมด้วย โดยในการศึกษา ของ Kim และคณะ ในปี ค.ศ. 2020 พบว่าข้อมูลที่ถูก นำมาใช้ในการวิเคราะห์หอคอยนั้น มีการแสดงผลลัพท์ ด้วยทศนิยมหนึ่งตำแหน่ง ซึ่งอาจแสดงถึงการมีอคติใน การแปลผล อีกทั้งการศึกษายังขาดความชัดเจนในการ เลือกวัสดุที่นำมาทำการศึกษาทั้งการเลือกผลิตภัณฑ์ และยังขาดการควบคุมปัจจัยที่อาจมีผลต่อผลการ ศึกษา ได้แก่ สี (shade) โดยมีการเลือกใช้วัสดุมอนอลิธิคเซอร์ โคเนียชนิดโปร่งแสง 3Y-TZP ที่มีการเติมเฟอร์ริกออกไซด์ (ferric oxide) ซึ่งช่วยให้เซอร์โคเนียมีสีเบจ (beige) และไม่ทำให้วัสดุสูญเสียสมบัติเชิงกลที่ดี^{21, 23} ในขณะที่ ผลิตภัณฑ์อื่น ๆ ไม่พบการเติมสารชนิดนี้ ทำให้การประเมิน อคติของงานวิจัยนี้พบว่ามีความอคติสูง ซึ่งผู้วิจัยได้ทดลองคัด เลือกงานวิจัยของ Kim และคณะ ออกจากการศึกษา พบว่า เมื่อนำข้อมูลมาวิเคราะห์หอคอยพบว่าข้อมูลยัง

คงขาดความเป็นเนื้อเดียวกันสูง ($I^2=96.8\%$) ซึ่งอาจแสดงถึงความต่างแบบกันนั้นเกิดจากหลายปัจจัยร่วมด้วย

เมื่อพิจารณาความทนแรงดัดโดยวิเคราะห์กลุ่มย่อยจากปริมาณอิทธิพล โดยแยกเป็นกลุ่มมอนอลิธิค เซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง 3Y-TZP 4Y-TZP และ 5Y-TZP เนื่องจากมีหลายการศึกษาพบว่าปริมาณอิทธิพลส่งผลต่อสมบัติเชิงกลของวัสดุ^{14, 24, 25} พบว่ากลุ่มมอนอลิธิค เซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง 3Y-TZP และ 5Y-TZP มีค่าความทนแรงดัดมากกว่ากลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติแต่อาจยังไม่สามารถสรุปได้ เนื่องจากข้อมูลขาดความเป็นเนื้อเดียวกันสูง และเมื่อพิจารณาความทนแรงดัดโดยวิเคราะห์กลุ่มย่อยพบว่า กลุ่มมอนอลิธิค เซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง 4Y-TZP มีค่าความทนแรงดัดมากกว่ากลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตอย่างไม่มีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อาจยังไม่สามารถสรุปได้ เนื่องจากข้อมูลขาดความเป็นเนื้อเดียวกันสูง โดยจากการวิเคราะห์กลุ่มย่อย โดยแยกเป็นกลุ่มมอนอลิธิค เซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง 3Y-TZP 4Y-TZP และ 5Y-TZP พบว่าข้อมูลยังคงขาดความเป็นเนื้อเดียวกันสูง อาจแสดงถึงความต่างแบบกันนั้นเกิดจากปัจจัยอื่น ๆ ร่วมด้วย

เมื่อพิจารณาในเรื่องความทนทานต่อการแตกหักและความต้านทานต่อการแตกหักแล้วนั้น พบว่าข้อมูลขาดความเป็นเนื้อเดียวกันสูง และพบว่าอาจจะมีอคติจากการตีพิมพ์ ซึ่งอาจเกิดได้จากมีบทความที่ใช้ในการศึกษาจำนวนน้อย ซึ่งอาจไม่มีกำลังในการทดสอบทางสถิติ

ข้อจำกัดเกี่ยวกับการสืบค้นข้อมูลในครั้งนี้ ได้แก่ บทความที่ได้มาจาก PubMed, Google Scholar เท่านั้น การศึกษาที่นำมาวิเคราะห์ห่อหุ้มเป็นการศึกษาแบบนอกร่างทั้งหมด ซึ่งเป็นการศึกษาที่ทำในห้องทดลอง เป็นการทดสอบโดยไม่มีการใช้สัตว์หรือสิ่งมีชีวิต และยังมีอคติจากการศึกษา โดยในการศึกษานี้มีเพียง 11 บทความที่ครบตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในเกณฑ์ในการคัดเลือกงานวิจัยเข้าการศึกษา เกณฑ์ในการคัดเลือกงานวิจัยออกจากการศึกษา และยอมรับตามเกณฑ์เป็นเอกฉันท์จากผู้ทบทวน

สรุป

จากการรวบรวมข้อมูลเพื่อทำวิเคราะห์ห่อหุ้ม พบว่า มอนอลิธิค เซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง มีค่าความทนแรงดัด ความทนทานต่อการแตกหัก และความต้านทานต่อการแตกหักของวัสดุมากกว่ากลุ่มลิเทียมไดซิลิเกตอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ แต่อาจยังไม่สามารถสรุปได้ เนื่องจากข้อมูลขาดความเป็นเนื้อเดียวกันสูง และมีการศึกษาที่ยังไม่มากพอ โดยในความเห็นของผู้วิจัยคิดว่า มอนอลิธิค เซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงเป็นวัสดุทางเลือกที่เหมาะสมสำหรับการบูรณะในบริเวณที่ต้องการความสวยงาม และต้องรับแรงบดเคี้ยวสูง โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับผู้ป่วยที่มีประวัติการแตกหักของวัสดุบูรณะ หรือมีนิสัยทำงานนอกหน้าที่ของระบบบดเคี้ยว เนื่องด้วยงานวิจัยส่วนใหญ่ที่ค่อนข้างสรุปผลไปในทิศทางเดียวกันคือ วัสดุ มอนอลิธิค เซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงมีสมบัติเชิงกลมากกว่าวัสดุกลุ่มลิเทียมไดซิลิเกต แต่อย่างไรก็ตามด้วยข้อจำกัดของการศึกษาครั้งนี้ จึงควรมีการรวบรวมผลการศึกษาที่หลากหลายประเภทมากขึ้น เพื่อหาผลสรุปของสมบัติเชิงกลของมอนอลิธิค เซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสงเปรียบเทียบกับลิเทียมไดซิลิเกตต่อไป

อย่างไรก็ตามจากข้อมูลในปัจจุบันแสดงให้เห็นว่า มอนอลิธิค เซอร์โคเนียชนิดโปร่งแสง มีสมบัติเชิงกลที่ดี และมีความโปร่งแสง จึงเป็นวัสดุที่น่าสนใจในการนำมาบูรณะฟันเพื่อความสวยงามในบริเวณที่ต้องรับแรงบดเคี้ยวสูงหรือผู้ป่วยที่มีนิสัยทำงานนอกหน้าที่ของระบบบดเคี้ยว

ผลงานของผู้เขียน (Author contribution)

การค้นหาวรรณกรรม การอ่าน และการรวบรวมข้อมูล: PH และ SP, การวิเคราะห์และตีความข้อมูล: PH SP และ KC, ขั้นตอนการเตรียมต้นฉบับ การแก้ไข และพิสูจน์อักษรด้วยต้นฉบับ การเตรียมตารางและแก้ไขภาพและการแก้ไขขั้นสุดท้ายและการสรุปต้นฉบับ: PH และ SP

เอกสารอ้างอิง

- Baldissara P, Wandscher VF, Marchionatti AME, Parisi C, Monaco C, Ciocca L. Translucency of IPS e.max and cubic zirconia monolithic crowns. *J Prosthet Dent* 2018;120(2):269-75.
- Sen N, Isler S. Microstructural, physical, and optical characterization of high-translucency zirconia ceramics. *J Prosthet Dent* 2020;123(5):761-8.
- Pieger S, Salman A, Bidra AS. Clinical outcomes of lithium disilicate single crowns and partial fixed dental prostheses: a systematic review. *J Prosthet Dent* 2014;112(1):22-30.
- Makhija SK, Lawson NC, Gilbert GH, Litaker MS, McClelland JA, Louis DR, et al. Dentist material selection for single-unit crowns: findings from the National Dental Practice-Based Research Network. *J Dent* 2016;55:40-7.
- Quinn JB, Sundar V, Lloyd IK. Influence of microstructure and chemistry on the fracture toughness of dental ceramics. *Dental Materials* 2003;19(7):603-11.
- Brizuela-Velasco A, Dieguez-Pereira M, Alvarez-Arenal A, Chvarri-Prado D, Solaberrieta E, Fernandez-Gonzalez FJ, et al. Fracture resistance of monolithic high translucency zirconia implant-supported crowns. *Implant Dent* 2016;25(5):624-8.
- Ghodsi S, Jafarian Z. A review on translucent zirconia. *Eur J Prosthodont Restor Dent* 2018;26(2):62-74.
- Stawarczyk B, Keul C, Eichberger M, Figge D, Edelhoff D, Lumkemann N. Three generations of zirconia: from veneered to monolithic. Part I. *Quintessence Int* 2017;48(5):369-80.
- Elsayed A, Meyer G, Wille S, Kern M. Influence of the yttrium content on the fracture strength of monolithic zirconia crowns after artificial aging. *Quintessence Int* 2019;50(5):344-8.
- Camposilvan E, Leone R, Gremillard L, Sorrentino R, Zarone F, Ferrari M, et al. Aging resistance, mechanical properties and translucency of different yttria-stabilized zirconia ceramics for monolithic dental crown applications. *Dent Mater* 2018;34(6):879-90.
- Kontonasaki E, Giasimakopoulos P, Rigos AE. Strength and aging resistance of monolithic zirconia: an update to current knowledge. *Jpn Dent Sci Rev* 2020;56(1):1-23.
- Nassary Zadeh P, Lumkemann N, Sener B, Eichberger M, Stawarczyk B. Flexural strength, fracture toughness, and translucency of cubic/tetragonal zirconia materials. *J Prosthet Dent* 2018;120(6):948-54.
- Carrabba M, Keeling AJ, Aziz A, Vichi A, Fabian Fonzar R, Wood D, et al. Translucent zirconia in the ceramic scenario for monolithic restorations: A flexural strength and translucency comparison test. *J Dent* 2017;60:70-6.
- Nossair S, Salah T, Ebeid K. Biaxial flexural strength of different types of monolithic zirconia. *Brazilian Dental Science* 2019;22:Process.
- Mao L, Kaizer MR, Zhao M, Guo B, Song YF, Zhang Y. Graded ultra-translucent zirconia (5Y-PSZ) for strength and functionalities. *J Dent Res* 2018;97(11):1222-8.
- Hemdan S, abd el-aziz s, El-Sharkwy Z. Comparative study between monolithic translucent zirconia (Y-TZP) and IPS empress 2 in marginal fit and fracture strength. *Al-Azhar Dental Journal for Girls* 2019;6(4):391-9.
- Zhang F, Reveron H, Spies BC, Van Meerbeek B, Chevalier J. Trade-off between fracture resistance and translucency of zirconia and lithium-disilicate glass ceramics for monolithic restorations. *Acta Biomater* 2019;91:24-34.
- Sterne JA, Hernan MA, Reeves BC, Savovic J, Berkman ND, Viswanathan M, et al. ROBINS-I: a tool for assessing risk of bias in non-randomised studies of interventions. *BMJ* 2016;355:i4919.
- Fathy SM, Al-Zordk W, M EG, M VS. Flexural strength and translucency characterization of aesthetic monolithic zirconia and relevance to clinical indications: A systematic review. *Dent Mater* 2021;37(4):711-30.
- Gibbs CH, Anusavice KJ, Young HM, Jones JS, Esquivel-Upshaw JF. Maximum clenching force of patients with moderate loss of posterior tooth support: a pilot study. *J Prosthet Dent* 2002;88(5):498-502.
- Kim HK. Optical and mechanical properties of highly translucent dental zirconia. *Materials (Basel)* 2020;13(15).
- Kwon SJ, Lawson NC, McLaren EE, Nejat AH, Burgess JO. Comparison of the mechanical properties of translucent zirconia and lithium disilicate. *J Prosthet Dent* 2018;120(1):132-7.
- Holz L, Macias J, Vitorino N, Fernandes AJS, Costa FM, Almeida MM. Effect of Fe₂O₃ doping on colour and mechanical properties of Y-TZP ceramics. *Ceramics International* 2018;44(15):17962-71.
- Jansen JU, Lumkemann N, Sener B, Stawarczyk B. Comparison of fracture toughness measurements for zirconia materials using two test methods. *Dent Mater J* 2019;38(5):806-12.
- Jerman E, Lumkemann N, Eichberger M, Zoller C, Nothelfer S, Kienle A, et al. Evaluation of translucency, Marten's hardness, biaxial flexural strength and fracture toughness of 3Y-TZP, 4Y-TZP and 5Y-TZP materials. *Dent Mater* 2021;37(2):212-22.