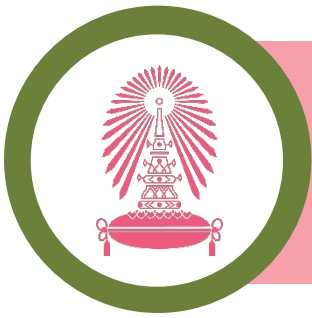




บทบาทยุทธศาสตร์ในการคัดเลือกผลิตภัณฑ์กันแดดสมัยใหม่ สำหรับผู้มีแนวโน้มเกิดฝ้าและรอยดำหลังการอักเสบ

บทความวิชาการเพื่อการศึกษาต่อเนื่องทางเภสัชศาสตร์

หน่วยกิตการศึกษาต่อเนื่อง 2.50
รหัส 1001-1-000-002-08-2569
วันที่รับรอง 4/7/2569
วันที่หมดอายุ 3/7/2570

นายชนุตม์ อุณหวิชัย¹ และนายปิยะพัชร ทรัพย์แสง¹
เภสัชกรหญิงกัญฐิกา เพลินธรรมคุณ²
รองศาสตราจารย์ เภสัชกรหญิง ดร.วิภาพร พนาพิศาล¹

¹ ภาควิชาวิทยาการเภสัชกรรมและเภสัชอุตสาหกรรม คณะเภสัชศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
² บริษัท นาโอส (ประเทศไทย) จำกัด

บทคัดย่อ

ฝ้า (melasma) และรอยดำหลังการอักเสบ (post-inflammatory hyperpigmentation; PIH) เป็นปัญหาผิวหนังที่พบได้บ่อยและส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของผู้ป่วย การปกป้องผิวจากแสงแดดอย่างเหมาะสมจึงเป็นองค์ประกอบสำคัญในการป้องกันและลดการกลับเป็นซ้ำของภาวะดังกล่าว แม้ว่าการใช้ผลิตภัณฑ์กันแดดที่ป้องกันรังสีอัลตราไวโอเลต (ultraviolet; UV) จะเป็นมาตรฐานในการดูแลผิวมาอย่างยาวนาน แต่หลักฐานในปัจจุบันชี้ให้เห็นว่าแสงที่ตามองเห็น (visible light) โดยเฉพาะช่วง high-energy visible light (HEV) มีส่วนเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการสร้างเม็ดสีผิวและการเกิดรอยดำ โดยเฉพาะในผู้ที่มีแนวโน้มเกิดความผิดปกติของเม็ดสีผิว ผลิตภัณฑ์กันแดดชนิดมีสี (tinted sunscreen) ที่มีส่วนประกอบของสารให้สี เช่น iron oxides ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้น เนื่องจากสามารถช่วยปกป้องผิวจากแสงที่ตามองเห็นได้นอกเหนือจากการป้องกันรังสี UV ขณะเดียวกัน ผลิตภัณฑ์กันแดดสมัยใหม่ยังมีการเติมสารต้านอนุมูลอิสระและส่วนประกอบเสริมอื่น ๆ เพื่อช่วยลดผลกระทบจากภาวะ oxidative stress และปัจจัยแวดล้อมที่เกี่ยวข้องกับการเกิดความผิดปกติของเม็ดสีผิว อย่างไรก็ตาม ระดับของหลักฐานสนับสนุนส่วนประกอบแต่ละชนิดยังมีความแตกต่างกัน

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนหลักฐานทางวิชาการเกี่ยวกับบทบาทของผลิตภัณฑ์กันแดดชนิดมีสีและส่วนประกอบที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระในผู้ที่มีแนวโน้มเกิดฝ้าและรอยดำหลังการอักเสบ พร้อมสรุปแนวทางการคัดเลือกผลิตภัณฑ์และการให้คำแนะนำโดยเภสัชกร เพื่อสนับสนุนการบริบาลทางเภสัชกรรมที่อาศัยหลักฐานเชิงประจักษ์และเหมาะสมกับผู้ป่วยบริการแต่ละราย

คำสำคัญ : ผลิตภัณฑ์กันแดดชนิดมีสี; สารต้านอนุมูลอิสระ; ฝ้า; รอยดำหลังการอักเสบ; แสงที่ตามองเห็น; บทบาทยุทธศาสตร์

บทนำ

ฝ้า (melasma) และรอยดำหลังการอักเสบ (post-inflammatory hyperpigmentation; PIH) เป็นความผิดปกติของเม็ดสีผิวที่พบได้บ่อย โดยเฉพาะในผู้ที่มีผิวสีปานกลางถึงผิวเข้ม และประชากรเอเชียซึ่งมีแนวโน้มเกิดภาวะเม็ดสีผิวผิดปกติได้ง่ายกว่าประชากรผิวขาว ภาวะดังกล่าวแม้ไม่เป็นอันตรายต่อชีวิต แต่สามารถส่งผลกระทบต่อคุณภาพชีวิต ความมั่นใจในตนเอง และความพึงพอใจต่อภาพลักษณ์ของผู้ป่วยได้อย่างมีนัยสำคัญ (1, 2) การป้องกันผิวจากแสงแดด (photoprotection) ถือเป็นองค์ประกอบสำคัญของการดูแลผู้ที่มีภาวะฝ้าและ PIH เนื่องจากการได้รับแสงแดดสามารถกระตุ้นการสร้างเม็ดสีผิวและส่งเสริมการกลับเป็นซ้ำของรอยโรคได้ แม้ว่าผู้ป่วยจะได้รับการรักษาด้วยยาเฉพาะที่ หัตถการ หรือเทคโนโลยีทางการแพทย์อื่น ๆ แล้วก็ตาม ด้วยเหตุนี้ แนวทางการดูแลในปัจจุบันจึงให้ความสำคัญกับการใช้มาตรการป้องกันแสงแดดร่วมกับการรักษาหลักอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการใช้ผลิตภัณฑ์กันแดดที่สามารถป้องกัน UV และปัจจัยด้านแสงที่เกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการสร้างเม็ดสีผิว (3, 4) ในอดีต การประเมินประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์กันแดดมุ่งเน้นการป้องกันรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet radiation; UV) เป็นหลัก อย่างไรก็ตาม หลักฐานทางวิชาการในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าแสงที่ตามองเห็น (visible light; VIS) โดยเฉพาะช่วง high-energy visible light (HEV; 400–500 นาโนเมตร) สามารถกระตุ้นการสร้างเม็ดสีผิวและทำให้ภาวะฝ้าหรือ PIH รุนแรงขึ้นได้ โดยผลกระทบดังกล่าวพบได้เด่นชัดในผู้ที่มีผิวสีปานกลางถึงผิวเข้ม ซึ่งเป็นลักษณะผิวที่พบได้บ่อยในประชากรเอเชีย (5-7)

องค์ความรู้ที่เพิ่มขึ้นนี้นำไปสู่การพัฒนาผลิตภัณฑ์กันแดดสมัยใหม่ที่ไม่ได้มุ่งเน้นเฉพาะการป้องกันรังสี UV เท่านั้น แต่ยังครอบคลุมการป้องกันแสงที่ตามองเห็นผ่านการใช้สารให้สี เช่น iron oxides รวมถึงการเสริมสารต้านอนุมูลอิสระและส่วนประกอบอื่น ๆ ที่มุ่งลดผลกระทบจากภาวะ oxidative stress อันเกิดจากแสงแดดและปัจจัยแวดล้อม อย่างไรก็ตาม ส่วนประกอบเหล่านี้มีระดับของหลักฐานสนับสนุนที่แตกต่างกัน และอาจสร้างความสับสนต่อผู้บริโภคในการเลือกใช้ผลิตภัณฑ์

เภสัชกรในฐานะบุคลากรสาธารณสุขที่มีบทบาทในการคัดเลือกผลิตภัณฑ์สุขภาพและให้คำแนะนำแก่ผู้รับบริการ จึงควรมีความเข้าใจเกี่ยวกับหลักฐานทางวิชาการที่สนับสนุนประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์กันแดดสมัยใหม่ ตลอดจนข้อจำกัดและความเหมาะสมของส่วนประกอบต่าง ๆ เพื่อให้สามารถเลือกผลิตภัณฑ์และให้คำแนะนำที่สอดคล้องกับลักษณะผิว ปัญหาทางคลินิก และความต้องการของผู้รับบริการแต่ละรายได้อย่างเหมาะสม

ตารางที่ 1 คำศัพท์สำคัญที่ใช้ในบทความ

คำศัพท์	ความหมายโดยสังเขป
Melasma	ภาวะฝ้า
Post-inflammatory hyperpigmentation (PIH)	รอยดำหลังการอักเสบ
Visible light (VL)	แสงที่มองเห็นได้ 400–700 nm
High-energy visible light (HEV)	แสงพลังงานสูงช่วง 400–500 nm

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อทบทวนบทบาทของแสงที่ตามองเห็นต่อการเกิดฝ้าและ PIH หลักฐานทางวิทยาศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับผลิตภัณฑ์กันแดดชนิดที่มีสีและ ส่วนประกอบที่มีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ รวมถึงสรุปแนวทางการคัดเลือกผลิตภัณฑ์และการให้คำแนะนำโดยเภสัชกรบนพื้นฐานของหลักฐานเชิงประจักษ์ในปัจจุบัน เพื่อความเข้าใจที่สอดคล้องกัน บทความนี้สรุปคำศัพท์สำคัญที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันผิวจากแสงแดด

และความผิดปกติของเม็ดสีผิวไว้ในตารางที่ 1 และตารางที่ 2 แสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์กันแดดทั่วไปและผลิตภัณฑ์กันแดดชนิดมีสีในมิติที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันรังสี UV และแสงที่ตามองเห็น

ตารางที่ 2 ตารางเปรียบเทียบการป้องกันรังสี UV และแสงที่ตามองเห็น (3, 8, 9)

คุณสมบัติ	ผลิตภัณฑ์กันแดดทั่วไป	ผลิตภัณฑ์กันแดดชนิดมีสี
UVB protection	✓	✓
UVA protection	✓	✓
Visible light (VL) protection	จำกัด	สูงกว่า
Iron oxides	ไม่มีหรือมีน้อย	มี
ความเหมาะสมในผู้ป่วยฝ้า	ปานกลาง	สูงกว่า
ความเหมาะสมในผู้ป่วย PIH	ปานกลาง	สูงกว่า

1. บทบาทของแสงที่ตามองเห็นต่อการเกิดฝ้าและรอยดำหลังการอักเสบ

ในอดีต การป้องกันผิวจากแสงแดดมุ่งเน้นการลดผลกระทบจากรังสีอัลตราไวโอเล็ต (ultraviolet radiation; UV) เป็นหลัก เนื่องจากเป็นปัจจัยสำคัญที่เกี่ยวข้องกับการเกิดผิวไหม้แดด (sunburn) การแก่ก่อนวัยจากแสงแดด (photoaging) และมะเร็งผิวหนัง อย่างไรก็ตาม หลักฐานทางวิชาการในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าแสงที่ตามองเห็น (visible light; VL) ซึ่งมีช่วงความยาวคลื่นประมาณ 400–700 นาโนเมตร สามารถส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงทางชีววิทยาของผิวหนังได้เช่นกัน โดยเฉพาะในผู้ที่มีผิวสีปานกลางถึงผิวเข้ม (5, 7) ในบรรดาช่วงคลื่นของแสงที่ตามองเห็น ช่วง high-energy visible light (HEV) หรือ blue light ซึ่งมีความยาวคลื่นประมาณ 400–500 นาโนเมตร ได้รับความสนใจเป็นพิเศษ เนื่องจากมีข้อมูลสนับสนุนว่าสามารถกระตุ้นกระบวนการสร้างเม็ดสีผิว (melanogenesis) ผ่านกลไกที่แตกต่างจาก UV โดยเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นตัวรับแสงภายในเซลล์สร้างเม็ดสี การเพิ่มการสร้างอนุมูลอิสระ และการส่งสัญญาณระดับเซลล์ที่เกี่ยวข้องกับการสร้างเมลานิน (6) การศึกษาทางคลินิกพบว่าแสงที่ตามองเห็นสามารถก่อให้เกิดรอยคล้ำของผิวหนังได้ โดยผลดังกล่าวมักเกิดเด่นชัดและคงอยู่นานกว่าในผู้ที่มีผิวสีปานกลางถึงผิวเข้มเมื่อเปรียบเทียบกับผู้ที่มีผิวขาว ทั้งนี้เชื่อว่ามีความสัมพันธ์กับปริมาณเมลานินพื้นฐานและการตอบสนองของเซลล์สร้างเม็ดสีต่อสิ่งกระตุ้นจากแสง (5, 7) ความรู้ดังกล่าวมีความสำคัญต่อการดูแลผู้ป่วยที่มีภาวะฝ้าและ PIH เนื่องจากทั้งสองภาวะเกี่ยวข้องกับความผิดปกติของกระบวนการสร้างเม็ดสีผิว โดยมีหลักฐานว่าการได้รับแสงที่ตามองเห็นสามารถส่งเสริมการเกิดรอยดำและอาจมีส่วนเกี่ยวข้องกับการกลับเป็นซ้ำของรอยโรคได้ แม้ในกรณีที่ผู้ป่วยได้รับการรักษาด้วยยาเฉพาะที่หรือหัตถการทางผิวหนังแล้วก็ตาม (3, 4) แม้ว่าผลิตภัณฑ์กันแดดในท้องตลาดส่วนใหญ่จะสามารถป้องกันรังสี UV ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ความสามารถในการป้องกันแสงที่ตามองเห็นยังมีข้อจำกัด เนื่องจากระบบการประเมินประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์กันแดดในปัจจุบัน เช่น ค่า SPF และการแสดงผลการป้องกัน UVA ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อประเมินการป้องกัน UV เป็นหลัก ดังนั้น การเลือกผลิตภัณฑ์กันแดดสำหรับผู้ที่มีแนวโน้มเกิดฝ้าหรือ PIH จึงควรพิจารณาปัจจัยอื่นเพิ่มเติมนอกเหนือจากค่า SPF เพียงอย่างเดียว โดยเฉพาะความสามารถในการป้องกันแสงที่ตามองเห็นและองค์ประกอบของสูตรตำรับที่เกี่ยวข้องกับการลดความเสี่ยงของการเกิดเม็ดสีผิวผิดปกติ

2. ผลิตภัณฑ์กันแดดชนิดมีสี: หลักฐานทางวิชาการและบทบาทในการป้องกันฝ้าและรอยดำหลังการอักเสบ

2.1 เหตุใดผลิตภัณฑ์กันแดดชนิดมีสีจึงได้รับความสนใจ

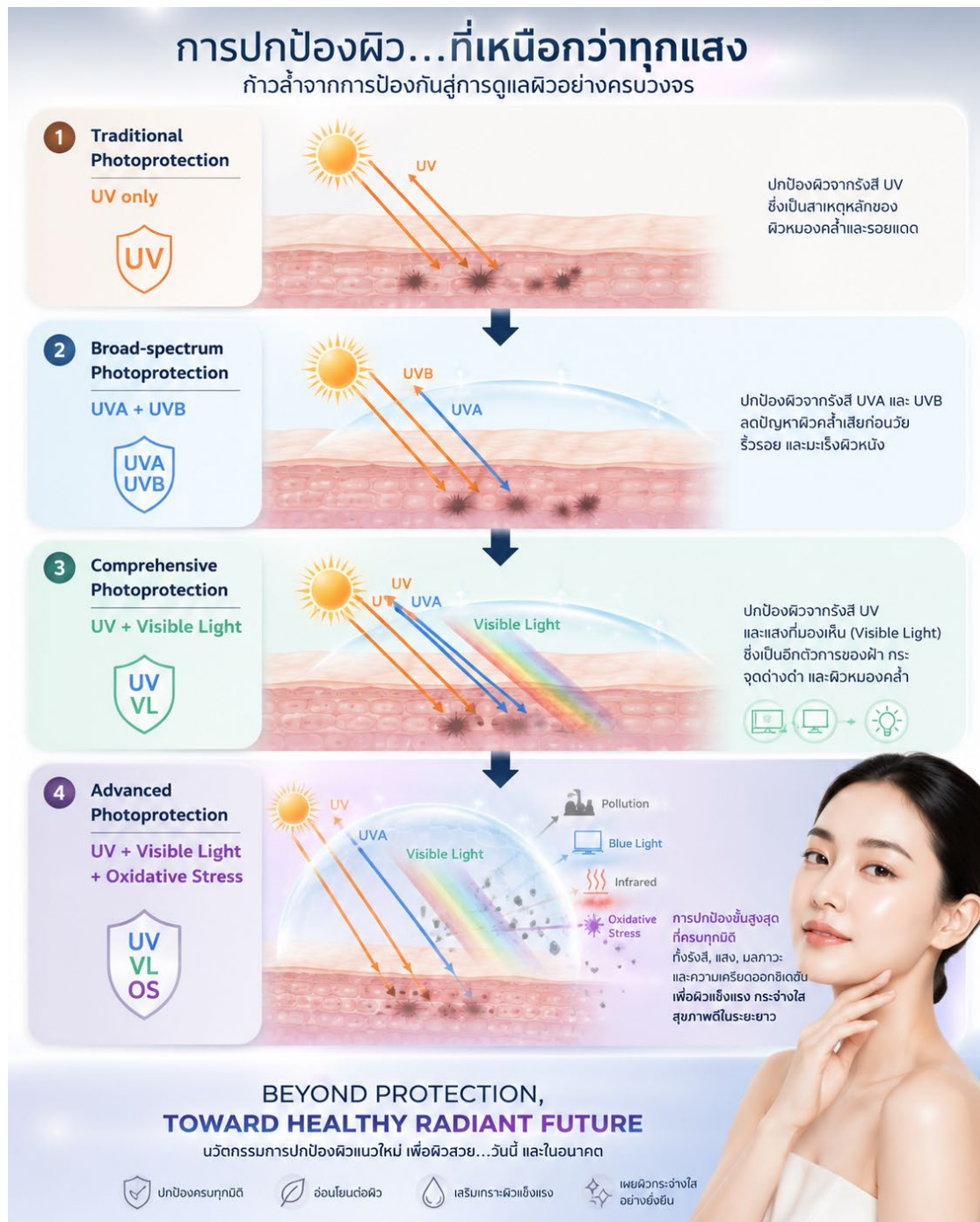
การพัฒนาผลิตภัณฑ์กันแดดในช่วงหลายปีที่ผ่านมาไม่ได้มุ่งเน้นเพียงการเพิ่มประสิทธิภาพการป้องกัน UV เท่านั้น แต่ยังให้ความสำคัญกับการป้องกันแสงที่ตามองเห็นซึ่งมีบทบาทต่อการเกิดความผิดปกติของเม็ดสีผิว โดยเฉพาะในผู้ที่ผิวสีปานกลางถึงผิวเข้ม ซึ่งเป็นกลุ่มที่มีแนวโน้มเกิดฝ้าและ PIH ได้ง่ายกว่า ผลิตภัณฑ์กันแดดชนิดมีสี (tinted sunscreen) ได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นจากความสามารถในการให้การปกป้องผิวที่ครอบคลุมมากกว่าการป้องกันรังสี UV เพียงอย่างเดียว เนื่องจากการเติมสารให้สีในสูตรตำรับ ซึ่งสามารถช่วยลดการส่งผ่านของแสงที่ตามองเห็นมายังผิวหนังได้ การป้องกันในช่วงคลื่นดังกล่าวมีความสำคัญเป็นพิเศษในผู้ป่วยที่มีภาวะฝ้าและ PIH เนื่องจากมีหลักฐานว่าการได้รับแสงที่ตามองเห็นสามารถกระตุ้นกระบวนการสร้างเม็ดสีผิวและส่งเสริมการกลับเป็นซ้ำของรอยโรคได้ (3, 10) แนวคิดดังกล่าวสะท้อนการเปลี่ยนแปลงของมุมมองด้าน photoprotection จากการป้องกันรังสี UV เพียงอย่างเดียว ไปสู่การป้องกันผิวแบบครอบคลุมซึ่งครอบคลุมแสงที่ตามองเห็นและปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับภาวะ oxidative stress ดังแสดงในรูปที่ 1

2.2 Iron oxides และการป้องกันแสงที่ตามองเห็น

ความแตกต่างสำคัญระหว่างผลิตภัณฑ์กันแดดชนิดมีสีกับผลิตภัณฑ์กันแดดทั่วไป คือ การเติมสารให้สี (pigments) ลงในสูตรตำรับ โดยสารที่ได้รับการศึกษามากที่สุดคือกลุ่ม iron oxides ซึ่งสามารถดูดกลืนและกระเจิงแสงในช่วง visible light ได้ นอกเหนือจากการป้องกัน UV ที่เกิดจากสารกรองรังสี (UV filters) ในสูตรตำรับ จากหลักฐานในปัจจุบัน การเติม iron oxides ลงในผลิตภัณฑ์กันแดดสามารถเพิ่มความสามารถในการป้องกันแสงที่ตามองเห็น โดยเฉพาะในช่วงความยาวคลื่นที่เกี่ยวข้องกับการกระตุ้นการสร้างเม็ดสีผิว จึงได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในการพัฒนาผลิตภัณฑ์สำหรับผู้ที่มีแนวโน้มเกิดฝ้าและ PIH อย่างไรก็ตาม ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานสากลที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพการป้องกันแสงที่ตามองเห็นในลักษณะเดียวกับค่า SPF สำหรับรังสี UV ทำให้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างผลิตภัณฑ์ยังมีข้อจำกัด (9) ดังนั้น การพิจารณาเลือกผลิตภัณฑ์กันแดดสำหรับผู้ที่มีแนวโน้มเกิดฝ้าหรือ PIH จึงไม่ควรอาศัยค่า SPF เพียงอย่างเดียว แต่ควรพิจารณาถึงความสามารถในการป้องกันแสงที่ตามองเห็นและข้อมูลสนับสนุนของสูตรตำรับร่วมด้วย ตัวอย่างหลักฐานทางคลินิกและบทบาททวนวรรณกรรมที่สนับสนุนบทบาทของการป้องกันแสงที่ตามองเห็นในผู้ป่วยฝ้าสรุปไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สรุปหลักฐานทางวิชาการที่สนับสนุนบทบาทของการป้องกันแสงที่ตามองเห็นในผู้ป่วยฝ้าและรอยดำหลังการอักเสบ

การศึกษา	รูปแบบการศึกษา	กลุ่มตัวอย่าง	ผลลัพธ์สำคัญ
Castanedo-Cazares et al., 2014	Double-blind RCT	Melasma (n=68)	UV + VL sunscreen ให้ผลดีกว่า UV - only sunscreen
Fatima et al., 2020	Review	Melasma PIH	สนับสนุนการป้องกันทั้ง UV และ VL
Geisler et al., 2021	Review	Photoprotection	Iron oxides มีบทบาทในการป้องกัน VL



รูปที่ 1 แนวคิดการปกป้องผิวสมัยใหม่ (AI-assisted graphic)

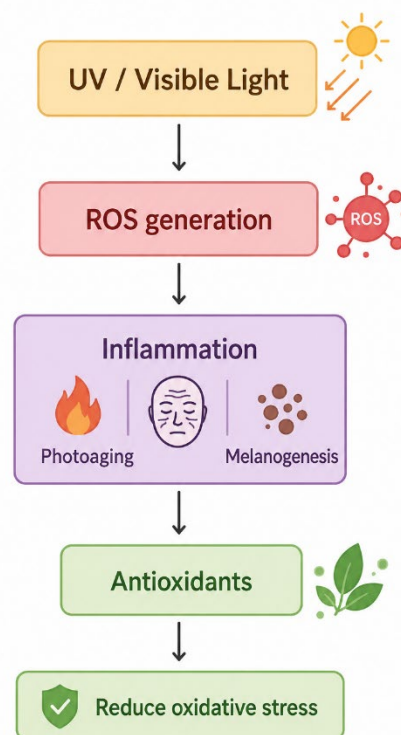
2.3 หลักฐานทางคลินิกในผู้ป่วยฝ้าและรอยดำหลังการอักเสบ

หลักฐานทางคลินิกที่ได้รับการอ้างอิงอย่างกว้างขวางมาจากการศึกษาสุ่มแบบปกปิดสองฝ่ายของ Castanedo-Cazares และคณะ (2014) ซึ่งเปรียบเทียบผลิตภัณฑ์กันแดดที่สามารถป้องกันทั้งรังสี UV และแสงที่ตามองเห็นกับผลิตภัณฑ์กันแดดที่ป้องกันเฉพาะรังสี UV ในผู้ป่วยฝ้าจำนวน 68 ราย ผลการศึกษาพบว่า กลุ่มที่ได้รับการป้องกันทั้งรังสี UV และแสงที่ตามองเห็นมีการตอบสนองต่อการรักษาที่ดีกว่าเมื่อประเมินด้วยดัชนีความรุนแรงของฝ้า (Melasma Area and Severity Index; MASI) และตัวชี้วัดด้านเม็ดสีผิวอื่น ๆ เมื่อเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม (8) การทบทวนวรรณกรรมในเวลาต่อมาสรุปไปในทิศทางเดียวกันว่า ผลิตภัณฑ์กันแดดที่สามารถป้องกันทั้ง UV และแสงที่ตามองเห็นมีบทบาทสำคัญในการดูแลผู้ป่วยฝ้าและ PIH โดยเฉพาะในผู้ที่มีผิวสีปานกลางถึงผิวเข้มซึ่งมีแนวโน้มเกิดความผิดปกติของเม็ดสีผิวจากแสงได้มากกว่ากลุ่มอื่น (3) ผลการศึกษาดังกล่าวสะท้อนให้เห็นว่าการป้องกัน UV เพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอสำหรับผู้ป่วยบางกลุ่ม โดยเฉพาะผู้ที่มีความผิดปกติของเม็ดสีผิวซึ่งมีความไวต่อผลกระทบของแสงที่ตามองเห็นมากกว่าประชากรทั่วไป ข้อมูลนี้มีความสำคัญต่อการตัดสินใจเลือกผลิตภัณฑ์กันแดดในทางปฏิบัติ เนื่องจากผลิตภัณฑ์ที่มีค่า SPF สูงอาจไม่ได้ให้การป้องกันแสงที่ตามองเห็นในระดับเดียวกันเสมอไป

3. บทบาทของสารต้านอนุมูลอิสระและส่วนประกอบเสริมในผลิตภัณฑ์กันแดดสมัยใหม่

3.1 เหตุใดการป้องกันรังสี UV และแสงที่ตามองเห็นเพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอ

ในอดีตการพัฒนาผลิตภัณฑ์กันแดดมุ่งเน้นการป้องกัน UV เป็นหลัก โดยอาศัยสารกรองรังสีเพื่อดูดกลืน สะท้อน หรือกระเจิงพลังงานรังสีก่อนเข้าสู่ผิวหนัง อย่างไรก็ตาม องค์ความรู้ด้าน photobiology ในปัจจุบันชี้ให้เห็นว่าความเสียหายของผิวหนังจากแสงไม่ได้เกิดขึ้นจากการดูดกลืนพลังงานรังสีโดยตรงเพียงอย่างเดียว แต่ยังเกี่ยวข้องกับการกระตุ้นกระบวนการทางชีวภาพที่ซับซ้อนภายในเซลล์ผิวหนัง โดยเฉพาะการเกิดภาวะ oxidative stress จากการสร้างอนุมูลอิสระ (reactive oxygen species; ROS) ภายหลังการได้รับรังสี UV แสงที่ตามองเห็น และรังสีอินฟราเรดบางช่วง (11-13) ROS สามารถส่งผลกระทบต่อการทำงานของเซลล์ผิวหนังหลายด้าน รวมถึงการกระตุ้นกระบวนการอักเสบ การเสื่อมสภาพขององค์ประกอบในชั้นผิว การเปลี่ยนแปลงของคอลลาเจน และการกระตุ้นการสร้างเม็ดสีผิว (melanogenesis) ซึ่งล้วนเป็นกลไกที่เกี่ยวข้องกับการเกิด photoaging ฝ้า และ PIH (6, 14) ด้วยเหตุนี้ แนวคิดการปกป้องผิวสมัยใหม่จึงขยายจากการป้องกันรังสีเพียงอย่างเดียว ไปสู่การลดผลกระทบทางชีวภาพที่เกิดขึ้นภายหลังการได้รับแสง หรือที่เรียกว่า “comprehensive photoprotection” (11, 15)



รูปที่ 2 กลไกการเกิด oxidative stress จากรังสี UV และ VIS และบทบาทของสารต้านอนุมูลอิสระในการลดความเสียหายของผิวหนัง (AI-assisted graphic)

ความสัมพันธ์ระหว่างรังสี UV แสงที่ตามองเห็น การเกิด ROS และบทบาทของสารต้านอนุมูลอิสระในการลดภาวะ oxidative stress แสดงสรุปไว้ในรูปที่ 2

3.2 บทบาทของสารต้านอนุมูลอิสระในการเสริมการปกป้องผิวจากแสง

สารต้านอนุมูลอิสระ (antioxidants) ถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ดูแลผิวและผลิตภัณฑ์กันแดดเพื่อช่วยลดผลกระทบจากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นภายหลังการได้รับแสงแดด โดยทำหน้าที่จับหรือยับยั้งปฏิกิริยาของ ROS ซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อองค์ประกอบสำคัญของผิวหนัง เช่น ไขมัน โปรตีน และสารพันธุกรรมภายในเซลล์ (14) ปัจจุบันมีการใช้สารต้านอนุมูลอิสระหลายชนิดในสูตรตำรับผลิตภัณฑ์กันแดด ได้แก่ วิตามินอี วิตามินซี สารประกอบโพลีฟีนอล และสารจากธรรมชาติอื่น ๆ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเสริมการปกป้องผิวนอกเหนือจากการทำงานของสารกรองรังสี แม้ว่าสารต้านอนุมูลอิสระจะไม่สามารถทดแทนการป้องกันรังสี UV หรือแสงที่ตามองเห็นได้ แต่มีบทบาทสำคัญในการสนับสนุนการปกป้องผิวแบบหลายกลไก (multimodal photoprotection) และได้รับความสนใจเพิ่มขึ้นในผลิตภัณฑ์กันแดดสมัยใหม่ (14, 15)

3.3 Ectoin และ Mannitol: ตัวอย่างของส่วนประกอบที่ช่วยลดผลกระทบจาก oxidative stress

Ectoin เป็นสารในกลุ่ม extremolyte ที่สร้างโดยจุลินทรีย์ซึ่งอาศัยอยู่ในสภาวะแวดล้อมที่รุนแรง เช่น ความเค็มสูง อุณหภูมิสูง หรือสภาวะแห้งแล้ง สารดังกล่าวได้รับความสนใจในด้านเวชสำอางและผลิตภัณฑ์ดูแลผิวจากคุณสมบัติในการช่วยรักษาเสถียรภาพของโปรตีน เยื่อหุ้มเซลล์ และโครงสร้างทางชีวภาพภายใต้ภาวะความเครียดจากสิ่งแวดล้อม (16) การศึกษาในระดับเซลล์พบว่า ectoin สามารถลดการตอบสนองต่อการอักเสบของเซลล์ผิวหนังและมีผลต่อการแสดงออกของโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับการปกป้องเซลล์จากความเครียด (17) ขณะที่งานวิจัยล่าสุดยังรายงานศักยภาพของ ectoin ในการลดผลกระทบบางประการที่เกิดจากรังสี UVB และความผิดปกติของผิวหนังที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของสเตียรอยด์ภายในผิว (18)

Mannitol เป็นน้ำตาลแอลกอฮอล์ที่มีคุณสมบัติเป็นสารต้านอนุมูลอิสระและถูกนำมาใช้ในผลิตภัณฑ์ดูแลผิวหลายประเภท โดยมีข้อเสนอว่าสามารถช่วยลดผลกระทบจากอนุมูลอิสระที่เกิดขึ้นภายหลังการได้รับแสงแดดและปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ ข้อมูลทางคลินิกที่น่าสนใจได้รับการรายงานโดย Fontbonne และคณะ ซึ่งศึกษาสูตรตำรับที่ประกอบด้วย ectoin และ mannitol ร่วมกับสารกรองรังสีในอาสาสมัครมนุษย์ ผลการศึกษาพบว่าสูตรตำรับดังกล่าวสามารถเสริมการปกป้องผิวจากผลกระทบของรังสี UV ได้มากกว่าการใช้ระบบสารกรองรังสีเพียงอย่างเดียว โดยผู้วิจัยเสนอว่ากลไกดังกล่าวอาจเกี่ยวข้องกับการลดภาวะ oxidative stress และการสนับสนุนความสามารถของผิวในการรับมือกับความเครียดจากสิ่งแวดล้อม (19) อย่างไรก็ตาม การศึกษาดังกล่าวไม่ได้ประเมินผลโดยตรงต่อภาวะผื่นหรือ PIH จึงยังจำเป็นต้องมีข้อมูลทางคลินิกเพิ่มเติมเพื่อยืนยันประโยชน์ในกลุ่มผู้ป่วยดังกล่าว

3.4 ส่วนประกอบเสริมเพื่อการปกป้องผิวจากปัจจัยแวดล้อม

นอกจากรังสี UV และแสงที่ตามองเห็นแล้ว ปัจจัยแวดล้อมอื่น ๆ เช่น มลพิษทางอากาศ ยังได้รับการเสนอว่ามีส่วนเกี่ยวข้องกับการเกิดภาวะ oxidative stress การอักเสบ และความผิดปกติของเมตัสผิว (20, 21) ด้วยเหตุนี้ จึงมีการพัฒนาส่วนประกอบเสริมที่มุ่งสนับสนุนการทำงานของเกราะป้องกันผิว (skin barrier) และลดผลกระทบจากปัจจัยแวดล้อมร่วมกับการป้องกันแสงแดด

สารในกลุ่ม polysaccharides เป็นตัวอย่างของส่วนประกอบที่ได้รับความสนใจ โดยมีการเสนอว่าสามารถสร้างฟิล์มเคลือบบนผิว ช่วยลดการสูญเสียน้ำ และสนับสนุนการทำงานของเกราะป้องกันผิว (22) อย่างไรก็ตาม หลักฐานทางคลินิกที่เชื่อมโยงโดยตรงกับการป้องกันฝ้าหรือ PIH ยังมีจำกัด และจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต

3.5 ส่วนประกอบกลุ่มใหม่ที่อยู่ระหว่างการศึกษา

ปัจจุบันมีความสนใจต่อการพัฒนาส่วนประกอบที่เลียนแบบกลไกการปกป้องแสงตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิต หนึ่งในกลุ่มที่ได้รับความสนใจคือ mycosporine-like amino acids (MAAs) ซึ่งพบในสาหร่ายแบคทีเรีย และสิ่งมีชีวิตทางทะเลหลายชนิด สารกลุ่มนี้สามารถดูดกลืนรังสี UV ได้ตามธรรมชาติและมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระร่วมด้วย (23) แม้ว่าผลการศึกษาในปัจจุบันจะแสดงให้เห็นศักยภาพของ MAAs ในฐานะส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ปกป้องผิวจากแสงแดด แต่ข้อมูลส่วนใหญ่ยังอยู่ในระดับการศึกษาทางห้องปฏิบัติการ การศึกษาทางชีวเคมี หรือการพัฒนาสูตรตำรับ (24) ดังนั้น จึงยังจำเป็นต้องมีหลักฐานทางคลินิกเพิ่มเติมเพื่อยืนยันบทบาทและความสำคัญของสารกลุ่มนี้ต่อผลลัพธ์ทางคลินิกในผู้ที่มีภาวะฝ้าหรือ PIH เมื่อพิจารณาหลักฐานทางวิชาการโดยรวม พบว่าส่วนประกอบเสริมแต่ละชนิดมีระดับของหลักฐานสนับสนุนแตกต่างกัน ดังสรุปในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ระดับของหลักฐานทางวิชาการที่สนับสนุนส่วนประกอบเสริมในผลิตภัณฑ์กันแดดสมัยใหม่

กลุ่มส่วนประกอบ	กลไกหลักที่เสนอ	ระดับของหลักฐานทางวิชาการ	เอกสารอ้างอิงหลัก
Iron oxides	ช่วยป้องกันแสงที่ตามองเห็น (visible light) โดยการดูดกลืนและกระเจิงแสง	หลักฐานทางคลินิก	Castanedo-Cazares et al., 2014; Bernstein et al., 2021; Geisler et al., 2021
วิตามินซีและวิตามินอี	ลดภาวะ oxidative stress และสนับสนุนการปกป้องผิวจากแสงแดด	บทบทวนวรรณกรรมและข้อมูลทางคลินิก	Farris and Valacchi, 2022; Jesus et al., 2023
Ectoin	ช่วยรักษาเสถียรภาพของโครงสร้างเซลล์ ลดการตอบสนองต่อความเครียดและการอักเสบของผิว	ข้อมูลในมนุษย์ร่วมกับข้อมูลเชิงกลไก	Buommino et al., 2005; Becker and Wittmann, 2020; Fontbonne et al., 2024; Xu and Wu, 2024
Mannitol	ช่วยลดผลกระทบจากอนุมูลอิสระและสนับสนุนการปกป้องผิวจาก oxidative stress	ข้อมูลในมนุษย์ร่วมกับข้อมูลเชิงกลไก	Fontbonne et al., 2024

กลุ่มส่วนประกอบ	กลไกหลักที่เสนอ	ระดับของหลักฐานทางวิชาการ	เอกสารอ้างอิงหลัก
สารกลุ่ม Polysaccharides	สนับสนุนการทำงานของเกราะป้องกันผิวและช่วยสร้างฟิล์มเคลือบผิว	ข้อมูลเชิงกลไกและสูตรตำรับ	Campos et al., 2014
Mycosporine-like amino acids (MAAs)	ดูดกลืนรังสี UV ตามธรรมชาติและมีคุณสมบัติต้านอนุมูลอิสระ	หลักฐานระยะเริ่มต้น (Emerging evidence)	Geraldes and Pinto, 2021; Punchakara et al., 2023

4. แนวทางการคัดเลือกผลิตภัณฑ์กันแดดสำหรับผู้มีแนวโน้มเกิดฝ้าและรอยดำหลังการอักเสบ

การเลือกผลิตภัณฑ์กันแดดสำหรับผู้ที่มีแนวโน้มเกิดฝ้า (melasma) หรือ PIH (post-inflammatory hyperpigmentation; PIH) ควรอาศัยการประเมินความเสี่ยงและความต้องการของผู้รับบริการเป็นรายบุคคล มากกว่าการพิจารณาคุณสมบัติของผลิตภัณฑ์จากค่า SPF เพียงอย่างเดียว เนื่องจากความผิดปกติของเม็ดสีผิวเป็นภาวะที่มีความซับซ้อนและเกี่ยวข้องกับผลกระทบของ UV แสงที่ตามองเห็น ภาวะ oxidative stress รวมถึงปัจจัยด้านพฤติกรรมและสิ่งแวดล้อมร่วมกัน (3, 4)

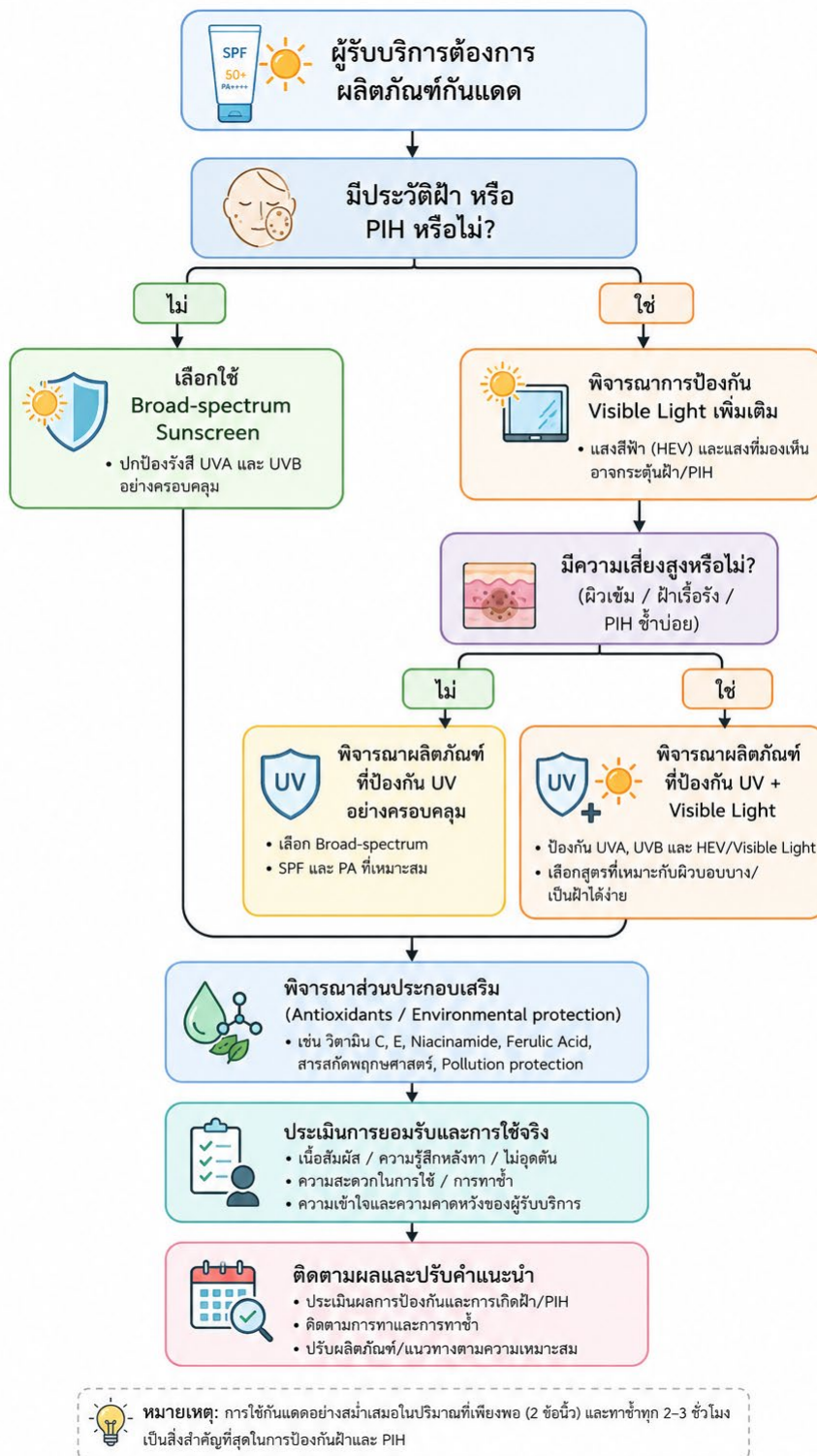
เภสัชกรควรเริ่มต้นจากการประเมินปัจจัยสำคัญ ได้แก่ ประวัติการเกิดฝ้าหรือ PIH ความเข้มของสีผิว ลักษณะการใช้ชีวิต การสัมผัสแสงแดดในชีวิตประจำวัน รวมถึงความสามารถในการใช้ผลิตภัณฑ์อย่างสม่ำเสมอ ทั้งนี้ ผู้ที่มีผิวสีปานกลางถึงผิวเข้ม หรือมีประวัติฝ้าและ PIH มักมีความไวต่อผลกระทบของแสงที่ตามองเห็นมากกว่าประชากรทั่วไป จึงอาจได้รับประโยชน์จากการเลือกผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติในการป้องกันแสงที่ตามองเห็นเพิ่มเติมจากการป้องกันรังสี UV ตามปกติ (8, 9) นอกจากนี้ ควรพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้งานจริงของผู้รับบริการ เนื่องจากประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์กันแดดในทางปฏิบัติขึ้นอยู่กับปริมาณที่ใช้ ความสม่ำเสมอในการใช้ และการทาซ้ำระหว่างวันร่วมด้วย มีรายงานว่าผู้บริโภคจำนวนมากใช้ผลิตภัณฑ์กันแดดในปริมาณที่น้อยกว่าที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพจริง ส่งผลให้ระดับการปกป้องผิวที่ได้รับต่ำกว่าที่ระบุไว้บนฉลากผลิตภัณฑ์ (25)

จากหลักฐานในปัจจุบัน การเลือกผลิตภัณฑ์สำหรับผู้ที่มีแนวโน้มเกิดฝ้าหรือ PIH ควรให้ความสำคัญกับลำดับดังต่อไปนี้

1. การป้องกันรังสี UV ได้อย่างครอบคลุมและเหมาะสม
2. ความสามารถในการป้องกันแสงที่ตามองเห็นในผู้ที่มีความเสี่ยงต่อความผิดปกติของเม็ดสีผิว
3. ความเหมาะสมของสูตรตำรับต่อสภาพผิวและการยอมรับของผู้ใช้
4. การมีส่วนประกอบเสริมที่สนับสนุนการปกป้องผิวจากภาวะ oxidative stress หรือปัจจัยแวดล้อม

ข้อพิจารณาที่เภสัชกรควรประเมินในการเลือกผลิตภัณฑ์กันแดดสำหรับผู้มีแนวโน้มเกิดฝ้าและ PIH สรุปไว้ในตารางที่ 5 ทั้งนี้ ส่วนประกอบเสริม เช่น สารต้านอนุมูลอิสระ Ectoin Mannitol หรือส่วนประกอบอื่น ๆ ควรถูกพิจารณาในฐานะองค์ประกอบสนับสนุน (supportive components) มากกว่าการใช้เป็นเกณฑ์หลักในการตัดสินใจเลือกผลิตภัณฑ์ เนื่องจากหลักฐานทางคลินิกที่สนับสนุนการป้องกันรังสี UV และแสงที่ตา

มองเห็นยังคงมีความสำคัญมากกว่าในปัจจุบัน (15, 19) จากหลักการดังกล่าว สามารถสรุปเป็นแนวทางการประเมินและคัดเลือกผลิตภัณฑ์กันแดดโดยอาศัยความเสี่ยงของผู้รับบริการต่อการเกิดฝ้าและ PIH ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 แนวทางการประเมินและคัดเลือกผลิตภัณฑ์กันแดดโดยพิจารณาความเสี่ยงต่อฝ้าและ PIH (AI-assisted graphic)

อัลกอริทึมสำหรับการให้คำแนะนำผลิตภัณฑ์กันแดดโดยอาศัยประวัติฝ้า (melasma) ภาวะผิวคล้ำหลังการอักเสบ (PIH) และความเสี่ยงต่อการเกิดรอยดำซ้ำ เพื่อพิจารณาความจำเป็นของการป้องกันแสงที่มองเห็นได้ (VL protection) และส่วนประกอบเสริมที่ช่วยลด oxidative stress

ตารางที่ 5 ข้อพิจารณาในการเลือกผลิตภัณฑ์กันแดดสำหรับผู้มีแนวโน้มเกิดฝ้าและรอยดำหลังการอักเสบ

ประเด็นที่ประเมิน	ข้อพิจารณาสำหรับเภสัชกร
ประวัติฝ้าหรือ PIH	ควรให้ความสำคัญกับการป้องกัน UV และ visible light
สีผิว	ผิวสีปานกลางถึงเข้มมีความไวต่อ visible light มากกว่า
การใช้ชีวิตกลางแจ้ง	อาจต้องเน้นประสิทธิภาพการป้องกันและการทาสี
การสัมผัสมลภาวะ	พิจารณาส่วนประกอบเสริมที่เกี่ยวข้องกับ oxidative stress
ความไวต่อเครื่องสำอาง	เลือกสูตรที่เหมาะสมกับสภาพผิว
ความร่วมมือในการใช้	เลือกผลิตภัณฑ์ที่ผู้ใช้อยอมรับและสามารถใช้ต่อเนื่องได้

5. ข้อจำกัดของหลักฐานในปัจจุบัน

แม้ว่าหลักฐานทางวิชาการในปัจจุบันจะสนับสนุนบทบาทของการป้องกันแสงที่ตามองเห็นและแนวคิดการปกป้องผิวแบบครอบคลุม (comprehensive photoprotection) มากขึ้น แต่ยังมีข้อจำกัดหลายประการที่ควรนำมาพิจารณาในการแปลผลและประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติ

ประการแรก หลักฐานทางคลินิกที่สนับสนุนประโยชน์ของการป้องกันแสงที่ตามองเห็นในผู้ป่วยฝ้าและ PIH ยังมีจำนวนจำกัดเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลด้านการป้องกัน UV โดยการศึกษาที่มีการออกแบบอย่างรัดกุมและประเมินผลลัพธ์ทางคลินิกโดยตรงยังมีไม่มากนัก (3, 8)

ประการที่สอง ปัจจุบันยังไม่มีมาตรฐานสากลที่ใช้ประเมินประสิทธิภาพการป้องกันแสงที่ตามองเห็นในลักษณะเดียวกับค่า SPF สำหรับรังสี UV ส่งผลให้การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ทำได้ค่อนข้างยาก และข้อมูลที่มีอยู่มักใช้วิธีการทดสอบที่แตกต่างกัน (9)

ประการที่สาม แม้ว่าสารต้านอนุมูลอิสระและส่วนประกอบเสริมหลายชนิดจะแสดงศักยภาพที่น่าสนใจในด้านการลดภาวะ oxidative stress และการปกป้องเซลล์ผิว แต่หลักฐานจำนวนมากยังอยู่ในระดับการศึกษาทางห้องปฏิบัติการ การศึกษาเชิงกลไก หรือการศึกษาในอาสาสมัครสุขภาพดี ขณะที่ข้อมูลที่ประเมินผลโดยตรงต่อการป้องกันหรือการลดความรุนแรงของฝ้าและ PIH ยังมีจำกัด (14, 15)

นอกจากนี้ ประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์กันแดดในทางปฏิบัติยังขึ้นอยู่กับปัจจัยด้านพฤติกรรมของผู้ใช้ เช่น ปริมาณที่ใช้ ความสม่ำเสมอในการใช้ และการทาซ้ำระหว่างวัน ซึ่งอาจแตกต่างจากเงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ (26) ดังนั้น การเลือกใช้ผลิตภัณฑ์กันแดดสำหรับผู้ที่มีแนวโน้มเกิดฝ้าหรือ PIH ควรอาศัยการพิจารณาหลักฐานทางวิชาการร่วมกับบริบททางคลินิกของผู้รับบริการแต่ละราย โดยตระหนักถึงข้อจำกัดของข้อมูลที่มีอยู่ในปัจจุบัน

6. บทสรุป

ฝ้าและ PIH เป็นความผิดปกติของเม็ดสีผิวที่พบได้บ่อยและมีความสัมพันธ์กับการได้รับแสงแดดในหลายมิติ ทั้ง UV แสงที่ตามองเห็น และกระบวนการทางชีวภาพที่เกี่ยวข้องกับภาวะ oxidative stress องค์ความรู้ในปัจจุบันแสดงให้เห็นว่าการป้องกันรังสี UV เพียงอย่างเดียวอาจไม่เพียงพอสำหรับผู้ที่มีความเสี่ยงต่อความผิดปกติของเม็ดสีผิว โดยเฉพาะในผู้ที่มีผิวสีปานกลางถึงผิวเข้ม ผลิตภัณฑ์กันแดดที่มีคุณสมบัติในการป้องกันแสงที่ตามองเห็น โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์ที่มีส่วนประกอบของสารให้สีกลุ่ม iron oxides มีหลักฐานทาง

คลินิกสนับสนุนบทบาทในการดูแลผู้ป่วยฝ้าและ PIH ขณะที่สารต้านอนุมูลอิสระและส่วนประกอบเสริมต่าง ๆ อาจช่วยสนับสนุนการปกป้องผิวผ่านกลไกการลดภาวะ oxidative stress และผลกระทบจากปัจจัยแวดล้อม อย่างไรก็ตาม ระดับของหลักฐานทางวิชาการที่สนับสนุนส่วนประกอบแต่ละชนิดยังมีความแตกต่างกัน เกสัชกรมีบทบาทสำคัญในการประเมินความเสี่ยงของผู้รับบริการ การแปลผลหลักฐานทางวิชาการ และการคัดเลือกผลิตภัณฑ์ที่เหมาะสมกับสภาพผิวและความต้องการของแต่ละบุคคล โดยควรให้ความสำคัญกับการป้องกันรังสี UV และแสงที่ตามองเห็นเป็นลำดับแรก ขณะที่ส่วนประกอบเสริมควรถูกพิจารณาในฐานะองค์ประกอบสนับสนุนของแนวคิดการปกป้องผิวแบบครอบคลุมในปัจจุบัน การประยุกต์ใช้องค์ความรู้ด้าน photoprotection อย่างเหมาะสมจะช่วยให้เภสัชกรสามารถให้คำแนะนำที่อาศัยหลักฐานเชิงประจักษ์สนับสนุนการดูแลผู้ที่มีแนวโน้มเกิดฝ้าและ PIH ได้อย่างมีประสิทธิภาพ และสอดคล้องกับแนวทางการบริหารทางเภสัชกรรมในยุคปัจจุบัน อย่างไรก็ตาม การป้องกันแสงแดดที่มีประสิทธิภาพยังคงขึ้นอยู่กับการใช้ผลิตภัณฑ์อย่างถูกต้องในปริมาณที่เพียงพอและการทาซ้ำอย่างสม่ำเสมอ ซึ่งเป็นองค์ประกอบสำคัญที่เภสัชกรควรเน้นย้ำในการให้คำแนะนำแก่ผู้รับบริการ

บรรณานุกรม

1. Ogbechie-Godec OA, Elbuluk N. Melasma: an Up-to-Date Comprehensive Review. *Dermatology and Therapy*. 2017;7(3):305-18.
2. Wu MX, Antony R, Mayrovitz HN. Melasma: A Condition of Asian Skin. *Cureus*. 2021;13(4):e14398.
3. Fatima S, Braunberger T, Mohammad TF, Kohli I, Hamzavi IH. The Role of Sunscreen in Melasma and Postinflammatory Hyperpigmentation. *Indian J Dermatol*. 2020;65(1):5-10.
4. Passeron T, Lim HW, Goh C-L, Kang HY, Ly F, Morita A, et al. Photoprotection according to skin phototype and dermatoses: practical recommendations from an expert panel. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*. 2021;35(7):1460-9.
5. Mahmoud BH, Ruvolo E, Hexsel CL, Liu Y, Owen MR, Kollias N, et al. Impact of long-wavelength UVA and visible light on melanocompetent skin. *J Invest Dermatol*. 2010;130(8):2092-7.
6. He X, Jin S, Dai X, Chen L, Xiang L, Zhang C. The Emerging Role of Visible Light in Melanocyte Biology and Skin Pigmentary Disorders: Friend or Foe? *Journal of Clinical Medicine*. 2023;12(23):7488.
7. Narla S, Kohli I, Hamzavi IH, Lim HW. Visible light in photodermatology. *Photochemical & Photobiological Sciences*. 2020;19(1):99-104.
8. Castanedo-Cazares JP, Hernandez-Blanco D, Carlos-Ortega B, Fuentes-Ahumada C, Torres-Álvarez B. Near-visible light and UV photoprotection in the treatment of melasma: a double-blind randomized trial. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*. 2014;30(1):35-42.
9. Geisler AN, Austin E, Nguyen J, Hamzavi I, Jagdeo J, Lim HW. Visible light. Part II: Photoprotection against visible and ultraviolet light. *J Am Acad Dermatol*. 2021;84(5):1233-44.
10. Lim H, Hamzavi I, Kohli I, Trullas C, Lyons A. Photoprotection beyond ultraviolet radiation: A review of tinted sunscreens. *Journal of the American Academy of Dermatology*. 2021;84(5):1393-7.
11. Krutmann J, Passeron T, Gilaberte Y, Granger C, Leone G, Narda M, et al. Photoprotection of the future: challenges and opportunities. *Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology*. 2020;34(3):447-54.
12. Austin E, Geisler AN, Nguyen J, Kohli I, Hamzavi I, Lim HW, et al. Visible light. Part I: Properties and cutaneous effects of visible light. *J Am Acad Dermatol*. 2021;84(5):1219-31.

13. Horton L, Brady J, Kincaid CM, Torres AE, Lim HW. The effects of infrared radiation on the human skin. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*. 2023;39(6):549-55.
14. Jesus A, Mota S, Torres A, Cruz MT, Sousa E, Almeida IF, et al. Antioxidants in Sunscreens: Which and What For? *Antioxidants (Basel)*. 2023;12(1).
15. Farris PK, Valacchi G. Ultraviolet Light Protection: Is It Really Enough? *Antioxidants (Basel)*. 2022;11(8).
16. Becker J, Wittmann C. Microbial production of extremolytes — high-value active ingredients for nutrition, health care, and well-being. *Current Opinion in Biotechnology*. 2020;65:118-28.
17. Buommino E, Schiraldi C, Baroni A, Paoletti I, Lamberti M, De Rosa M, et al. Ectoine from halophilic microorganisms induces the expression of hsp70 and hsp70B' in human keratinocytes modulating the proinflammatory response. *Cell Stress Chaperones*. 2005;10(3):197-203.
18. Xu D, Wu Y. Ectoin attenuates cortisone-induced skin issues by suppression GR signaling and the UVB-induced overexpression of 11 β -HSD1. *J Cosmet Dermatol*. 2024;23(12):4303-14.
19. Fontbonne A, Teme B, Abrieu E, Lecerf G, Callejon S, Moga A, et al. Positive and ecobiological contribution in skin photoprotection of ectoine and mannitol combined in vivo with UV filters. *Journal of Cosmetic Dermatology*. 2024;23(1):308-15.
20. Han HS, Seok J, Park KY. Air Pollution and Skin Diseases. *Ann Dermatol*. 2025;37(2):53-67.
21. Khunger N, Dash A. Impact of Air Pollution on Skin Pigmentation: Mechanisms and Protective Strategies. *International Journal of Dermatology*. 2025;64(10):1788-801.
22. Campos P, Melo M, Junior F. Effects of Polysaccharide-Based Formulations on Human Skin. 2014. p. 1-18.
23. Geraldes V, Pinto E. Mycosporine-Like Amino Acids (MAAs): Biology, Chemistry and Identification Features. *Pharmaceuticals [Internet]*. 2021; 14(1):[63 p.].
24. Punchakara A, Prajapat G, Bairwa HK, Jain S, Agrawal A. Applications of mycosporine-like amino acids beyond photoprotection. *Appl Environ Microbiol*. 2023;89(11):e0074023.
25. Petersen B, Wulf HC. Application of sunscreen – theory and reality. *Photodermatology, Photoimmunology & Photomedicine*. 2014;30(2-3):96-101.
26. Petersen B, Datta P, Philipsen PA, Wulf HC. Sunscreen use and failures — on site observations on a sun-holiday. *Photochemical & Photobiological Sciences*. 2013;12(1):190-6.