

การบำบัดด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบพัลส์ : แนวทางการรักษาเสริมที่มีศักยภาพสำหรับแผลเรื้อรังทางผิวหนัง

จิรนุช ธรรมคัมภีร์ พ.บ.*, สมชาย ยงศิริ พ.บ.**

บทคัดย่อ

แผลเรื้อรังเป็นภาวะที่ท้าทายในการดูแลรักษาทั้งแพทย์ผิวหนังและศัลยแพทย์ บทความนี้ทบทวนศักยภาพในการรักษาของการบำบัดด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบพัลส์ (PEMF) ในฐานะที่เป็นวิธีการรักษาเสริมสำหรับแผลเรื้อรังชนิดต่าง ๆ ที่พบในทางผิวหนัง โดยจะเจาะลึกถึงลักษณะของแผลเรื้อรัง การรักษามาตรฐานเดิม กลไกการออกฤทธิ์ที่ PEMF ส่งเสริมการหายของแผล ข้อบ่งชี้ทางคลินิก และหลักฐานที่สนับสนุนประสิทธิภาพของการรักษา

คำสำคัญ : สนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบพัลส์, แผลเรื้อรัง, การหายของแผล, ผิวหนัง, การรักษาเสริม

The Adjunctive Therapy for Chronic Wound : A Review of Pulsed Electromagnetic Field Therapy

Jiranuch Thammakumpee M.D.*, Somchai Yongsiri M.D.**

Abstract

Chronic wounds present a significant challenge in dermatological and surgical practice. This review explores the therapeutic potential of Pulse Electromagnetic Field (PEMF) therapy as an adjunctive treatment for various chronic wound types encountered in dermatology. We delve into the characteristics of chronic wounds, standard treatment approaches, the mechanisms of action by which PEMF promotes wound healing, its clinical applications, and the evidence supporting its efficacy.

Keywords : pulse electromagnetic field, PEMF, chronic wound, wound healing, dermatology, adjuvant therapy

บทนำ

แผลเรื้อรัง เช่น แผลเบาหวาน แผลกดทับ และแผลหลอดเลือดดำที่ขา เป็นปัญหาสุขภาพที่สำคัญและก่อให้เกิดภาระทางเศรษฐกิจอย่างมาก ในทางผิวหนัง การจัดการภาวะเหล่านี้อาจมีความซับซ้อนเป็นพิเศษเนื่องจากปัจจัยต่าง ๆ ที่ส่งผลต่อความสมบูรณ์ของผิวหนัง การบำบัดด้วย PEMF ได้กลายเป็นวิธีการรักษาที่ไม่รุกรานและมีประสิทธิภาพที่ควรได้รับการตรวจสอบอย่างละเอียด บทความนี้มีจุดมุ่งหมายเพื่อให้แพทย์ผิวหนังได้รับภาพรวมที่ครอบคลุมเกี่ยวกับการบำบัดด้วย PEMF โดยเน้นที่การประยุกต์ใช้ในการจัดการแผลเรื้อรัง

แผลเรื้อรัง: ความรู้พื้นฐาน

แผลเรื้อรัง (Chronic Wound) คือ บาดแผลที่ไม่สามารถหายได้ตามกระบวนการปกติของร่างกาย หรือใช้ระยะเวลาในการรักษานานกว่าที่ควรจะเป็น โดยทั่วไปแล้ว แผลที่ไม่หายหรือไม่มีแนวโน้มที่จะหายดีขึ้นภายในระยะเวลา 4 สัปดาห์ถึง 3 เดือน จะถูกจัดว่าเป็นแผลเรื้อรัง

โดยปกติแล้วเมื่อเกิดบาดแผล ร่างกายจะมีกระบวนการซ่อมแซมตัวเองเป็น 4 ระยะ ได้แก่ ระยะห้ามเลือด (Hemostasis), ระยะอักเสบ (Inflammation), ระยะสร้างเนื้อเยื่อ (Proliferation) และระยะปรับสภาพ (Remodeling) ในกรณีของ

* นายแพทย์เชี่ยวชาญกลุ่มงานอายุรกรรม โรงพยาบาลชลบุรี

** อายุรแพทย์โรคไต คณะแพทยศาสตร์โรงพยาบาลมหาวิทยาลัยบูรพา

* Dermatology unit, Department of internal Medicine, Chonburi Hospital

** Faculty of Medicine, Burapa University

แผลเรื้อรัง กระบวนการสาเหตุหลักที่ทำให้แผลกลายเป็นแผลเรื้อรัง เหล่านี้มักจะหยุดชะงัก โดยเฉพาะในระยะอักเสบ ทำให้แผลไม่สามารถเข้าสู่ขั้นตอนการสร้างเนื้อเยื่อใหม่เพื่อปิดแผลได้

ปัจจัยที่ขัดขวางกระบวนการหายของแผลและนำไปสู่ภาวะแผลเรื้อรังมีหลากหลายสาเหตุ ซึ่งมักเกี่ยวข้องกับปัจจัยภายในร่างกายของผู้ป่วยเองและปัจจัยภายนอก ดังนี้

- **การไหลเวียนโลหิตไม่ดี:** ออกซิเจนและสารอาหารไม่สามารถไปหล่อเลี้ยงบริเวณแผลได้อย่างเพียงพอ ทำให้เซลล์ไม่สามารถซ่อมแซมตัวเองได้ มักพบในผู้ป่วยโรคหลอดเลือดส่วนปลายตีบ (Peripheral Artery Disease) หรือภาวะหลอดเลือดดำบกพร่อง (Venous Insufficiency)

- **โรคประจำตัว:** โรคบางชนิดส่งผลกระทบโดยตรงต่อความสามารถในการหายของแผล เช่น

- **โรคเบาหวาน:** ระดับน้ำตาลในเลือดสูงทำลายหลอดเลือดและเส้นประสาท ทำให้การไหลเวียนโลหิตไม่ดีและผู้ป่วยอาจไม่รู้สึกเจ็บเมื่อเกิดแผล

- **ภาวะภูมิคุ้มกันบกพร่อง:** เช่น ผู้ติดเชื้อเอชไอวี หรือผู้ที่ได้รับยากดภูมิคุ้มกัน ทำให้ร่างกายไม่สามารถต่อสู้กับการติดเชื้อที่แผลได้

- **การติดเชื้อ:** แผลที่มีการติดเชื้อแบคทีเรีย โดยเฉพาะการเกิดไบโอฟิล์ม (Biofilm) ซึ่งเป็นกลุ่มของเชื้อจุลินทรีย์ที่สร้างเกราะป้องกันตัวเอง ทำให้ยาปฏิชีวนะเข้าไม่ถึงและกำจัดได้ยาก

- **ภาวะทุพโภชนาการ:** การขาดสารอาหารที่จำเป็นต่อการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ เช่น โปรตีน วิตามินซี และสังกะสี

- **แรงกดทับต่อเนื่อง:** การกดทับเป็นเวลานานทำให้เลือดไปเลี้ยงผิวหนังบริเวณนั้นไม่ได้ จนเนื้อเยื่อตายและเกิดเป็นแผลกดทับ (Pressure Ulcer)

- **อายุ:** ผู้สูงอายุมีความสามารถในการซ่อมแซมเซลล์และสร้างคอลลาเจนลดลง ทำให้แผลหายช้ากว่าคนหนุ่มสาว

ประเภทของแผลเรื้อรังที่พบบ่อย

แผลเรื้อรังมักถูกแบ่งประเภทตามสาเหตุของการเกิดได้แก่

1. **แผลหลอดเลือดดำ (Venous Ulcers):** มักเกิดบริเวณขาและข้อเท้า เกิดจากความผิดปกติของลิ้นในหลอดเลือดดำ ทำให้เลือดไหลย้อนกลับและคั่งค้างในส่วนล่างของขา

2. **แผลหลอดเลือดแดง (Arterial Ulcers):** เกิดจากการที่หลอดเลือดแดงตีบหรืออุดตัน ทำให้เลือดไปเลี้ยงอวัยวะส่วนปลายได้ไม่เพียงพอ มักพบบริเวณปลายเท้าและนิ้วเท้า

3. **แผลเบาหวาน (Diabetic Ulcers):** เป็นแผลที่พบได้บ่อยในผู้ป่วยเบาหวาน โดยเฉพาะที่เท้า เนื่องจาก

เส้นประสาทรับความรู้สึกเสื่อมร่วมกับหลอดเลือดที่ผิดปกติ

4. แผลกดทับ (Pressure Ulcers หรือ Bedsores):

เกิดจากการที่ผิวหนังและเนื้อเยื่อข้างใต้ถูกกดทับเป็นเวลานาน มักเกิดบริเวณปุ่มกระดูก เช่น สะโพก ก้นกบ สันเท้า

การรักษาแผลเรื้อรังมีความซับซ้อนและต้องอาศัยแนวทางแบบองค์รวม โดยหัวใจสำคัญที่สุดคือ **การรักษาสาเหตุต้นตอที่ทำให้แผลไม่หาย** ควบคู่ไปกับการดูแลบาดแผลโดยตรงอย่างถูกวิธี การรักษาจึงไม่ใช่แค่การทำแผล แต่เป็นการดูแลผู้ป่วยทั้งระบบ

หลักการสำคัญในการดูแลแผลเรื้อรัง (TIME Model)

ทางการแพทย์สมัยใหม่นิยมใช้หลักการ "TIME" เป็นกรอบในการประเมินและจัดการแผลเรื้อรัง เพื่อสร้างสภาวะที่เหมาะสมให้แผลหายได้ดีที่สุด

• T (Tissue Management): การจัดการเนื้อเยื่อ

- **เป้าหมาย:** กำจัดเนื้อตาย (Necrotic Tissue) หรือเนื้อเยื่อที่ไม่แข็งแรงออกจากแผล เนื่องจากเนื้อตายเป็นแหล่งสะสมของเชื้อโรคและขัดขวางการสร้างเนื้อเยื่อใหม่

◦ วิธีการ:

• การตัดเล็มโดยแพทย์ (Sharp Debridement):

เป็นวิธีที่รวดเร็วและมีประสิทธิภาพที่สุด โดยใช้มีดหรือกรรไกรตัดเนื้อตายออก

• การใช้เอนไซม์ (Enzymatic Debridement):

การใช้ยาในรูปแบบเจลหรือขี้ผึ้งที่มีเอนไซม์ช่วยย่อยสลายเนื้อตาย

- **การให้ร่างกายย่อยสลายเอง (Autolytic Debridement):** การใช้วัสดุปิดแผลที่เหมาะสมเพื่อรักษาความชุ่มชื้นให้เซลล์เม็ดเลือดขาวของร่างกายกำจัดเนื้อตายเองตามธรรมชาติ

• ชีวบำบัด (Biological Debridement):

การใช้ตัวอ่อนของหนอนแมลงวันทางการแพทย์ (Maggots) ที่ปลอดเชื้อในการกินเนื้อตายโดยไม่ทำลายเนื้อเยื่อดี

- **I (Infection and Inflammation): การควบคุมการติดเชื้อและการอักเสบ**

- **เป้าหมาย:** ลดปริมาณเชื้อแบคทีเรียและควบคุมการอักเสบที่มากเกินไป ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้แผลติดอยู่ในระยะอักเสบ

◦ วิธีการ:

- ทำความสะอาดแผลด้วยน้ำเกลือปราศจากเชื้อ ทุกครั้งที่เปิดแผล

- ใช้น้ำยาฆ่าเชื้อสำหรับล้างแผล (Antiseptic) ตามคำแนะนำของแพทย์

- ในกรณีติดเชื้อรุนแรง แพทย์อาจพิจารณาให้

ยาปฏิชีวนะชนิดรับประทานหรือฉีดเข้าหลอดเลือด

- การใช้วัสดุปิดแผลที่มีส่วนผสมของเงิน (Silver) หรือ ไอโอดีน (Iodine) เพื่อช่วยควบคุมเชื้อแบคทีเรียที่ผิวแผล

- **M (Moisture Balance): การรักษาสสมดุลความชุ่มชื้น**

- **เป้าหมาย:** ทำให้พื้นแผลมีความชุ่มชื้นที่พอเหมาะ "ไม่แห้งหรือแฉะเกินไป" เพื่อส่งเสริมการทำงานของเซลล์และการสร้างเนื้อเยื่อใหม่

- **วิธีการ:** การเลือกใช้วัสดุปิดแผล (Wound Dressing) ที่เหมาะสมกับลักษณะแผล

- **แผลแฉะ/มีสารคัดหลั่งมาก:** ใช้วัสดุที่ดูดซับได้ดี เช่น อัลจิเนต (Alginates), โฟม (Foams)

- **แผลแห้ง:** ใช้วัสดุที่ให้ความชุ่มชื้น เช่น ไฮโดรเจล (Hydrogels), ไฮโดรคอลลอยด์ (Hydrocolloids)

- **E (Edge of Wound): การดูแลขอบแผล**

- **เป้าหมาย:** กระตุ้นให้เซลล์ผิวหนังบริเวณขอบแผล เคลื่อนตัวเข้ามาปิดบาดแผล

- **วิธีการ:**

- กำจัดเนื้องอกที่ขอบแผล

- แก้ไขภาวะที่ขัดขวางการเคลื่อนตัวของเซลล์ เช่น การติดเชื้อ หรือภาวะแผลแห้งเกินไป

- ใช้เทคโนโลยีขั้นสูงเพื่อกระตุ้นขอบแผล เช่น การบำบัดด้วยแรงดันลบ (NPWT)

เทคโนโลยีและวิธีการรักษาสสมัยใหม่

นอกเหนือจากหลักการพื้นฐาน ยังมีเทคโนโลยีขั้นสูงที่เข้ามามีบทบาทสำคัญในการรักษาแผลเรื้อรังที่ซับซ้อน

1. **การบำบัดด้วยแรงดันลบ (Negative Pressure Wound Therapy – NPWT หรือ Vacuum Therapy):**

เป็นการใช้เครื่องดูดสุญญากาศต่อกับวัสดุปิดแผลชนิดพิเศษ เพื่อสร้างแรงดันลบอย่างต่อเนื่อง ช่วยดูดซับสารคัดหลั่ง ลดอาการบวม เพิ่มการไหลเวียนเลือด และกระตุ้นการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2. **การบำบัดด้วยออกซิเจนความกดบรรยากาศสูง (Hyperbaric Oxygen Therapy – HBOT):** ให้ผู้ป่วยเข้าไปหายใจในห้องที่มีออกซิเจนบริสุทธิ์ 100% ภายใต้ความกดอากาศที่สูงกว่าปกติ เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในเลือดให้ไปเลี้ยงบริเวณแผลได้มากขึ้น ช่วยให้แผลหายเร็วขึ้นและต่อสู้กับการติดเชื้อได้ดี

3. **วัสดุปิดแผลชนิดพิเศษ (Advanced Wound Dressings):** มีวัสดุปิดแผลหลากหลายชนิดที่ถูกออกแบบมาเพื่อจัดการกับปัญหาเฉพาะของแผล เช่น วัสดุที่มีสารเร่งการเจริญเติบโต (Growth Factors) หรือคอลลาเจน เพื่อช่วยกระตุ้นการซ่อมแซม

4. **สารทดแทนผิวหนัง (Skin Substitutes):** ในแผลขนาดใหญ่หรือหายยากมาก อาจมีการใช้ผิวหนังเทียมหรือวัสดุชีวภาพที่ทำจากเซลล์ของมนุษย์หรือสัตว์ เพื่อเป็นโครงให้เซลล์ผิวหนังของผู้ป่วยเจริญเติบโตขึ้นมาใหม่

5. **การรักษาด้วยเลเซอร์กำลังสูง (High Power Laser Therapy):** ใช้เลเซอร์กระตุ้นเซลล์ในบริเวณแผลเพื่อเร่งกระบวนการซ่อมแซมและลดการอักเสบ

การดูแลแบบองค์รวมและการทำงานเป็นทีม

การรักษาแผลเรื้อรังให้ได้ผลดีต้องอาศัย **ทีมสหสาขาวิชาชีพ (Multidisciplinary Team)** ที่ทำงานร่วมกัน ได้แก่

- **แพทย์:** วินิจฉัยสาเหตุหลักของแผล กำจัดเนื้องอก และวางแผนการรักษาโดยรวม

- **พยาบาลผู้เชี่ยวชาญด้านการดูแลแผล:** ประเมินและทำความสะอาดแผล เลือกใช้วัสดุปิดแผลที่เหมาะสม และให้ความรู้แก่ผู้ป่วยและญาติ

- **นักกายภาพบำบัด:** ช่วยออกแบบอุปกรณ์ลดแรงกดทับ (สำหรับแผลกดทับและแผลเบาหวานที่เท้า) และส่งเสริมการเคลื่อนไหว

- **นักโภชนาการ:** วางแผนด้านโภชนาการเพื่อให้ผู้ป่วยได้รับสารอาหารที่จำเป็นต่อการสมานแผล เช่น โปรตีน วิตามิน และแร่ธาตุ

- **แพทย์เฉพาะทางอื่น ๆ:** เช่น ศัลยแพทย์หลอดเลือด (ในกรณีแผลจากหลอดเลือดตีบ) หรือแพทย์โรคติดเชื้อ

บทบาทของผู้ป่วยและผู้ดูแล

ความร่วมมือของผู้ป่วยเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งต่อความสำเร็จในการรักษา

- **ควบคุมโรคประจำตัว:** ควบคุมระดับน้ำตาลในเลือด ความดันโลหิต ให้อยู่ในเกณฑ์ดี

- **ปฏิบัติตามคำแนะนำ:** ทำแผลและดูแลแผลตามที่แพทย์และพยาบาลแนะนำอย่างเคร่งครัด

- **โภชนาการ:** รับประทานอาหารที่มีประโยชน์ โดยเฉพาะโปรตีนสูง

- **ลดแรงกดทับ:** หลีกเลี่ยงการกดทับบริเวณที่เป็นแผล

- **งดสูบบุหรี่:** การสูบบุหรี่ทำให้หลอดเลือดหดตัวและขัดขวางการหายของแผลอย่างรุนแรง

การรักษาแผลเรื้อรังเป็นกระบวนการที่ต้องใช้เวลา ความอดทน และความร่วมมือจากหลายฝ่าย การเข้าพบแพทย์เพื่อวินิจฉัยและวางแผนการรักษาที่ถูกต้องตั้งแต่เนิ่นๆ คือกุญแจสำคัญที่จะช่วยให้แผลหายได้สำเร็จและกลับมามีคุณภาพชีวิตที่ดีอีกครั้ง

ทำไมต้องใช้ PEMF ในการรักษาแผลเรื้อรัง?

แม้ว่าการรักษามาตรฐานจะมีประโยชน์ แต่แผลเรื้อรังจำนวนมากยังคงไม่ตอบสนองต่อการรักษาเหล่านี้ที่เหมาะสม PEMF เป็นวิธีการรักษาเสริมที่มีศักยภาพ เนื่องจากมีกลไกการออกฤทธิ์ที่สามารถแก้ไขปัญหามากมายประการที่ขัดขวางการหายของแผลเรื้อรัง ที่ตอบโจทย์ปัญหาของแผลเรื้อรังได้หลายมิติพร้อมกัน โดย PEMF สามารถ:

- **ปรับปรุงจุลภาคและการไหลเวียนโลหิต (Improve Microcirculation):** เพิ่มการส่งออกซิเจนและสารอาหารไปยังแผล ซึ่งเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งในผู้ป่วยเบาหวาน

- **ลดการอักเสบ (Modulate Inflammation):** PEMF ช่วยปรับสมดุลของไซโตไคน์ โดยลดตัวที่ส่งเสริมการอักเสบ (pro-inflammatory cytokines) เช่น IL-1 β , TNF- α และส่งเสริมตัวกลางที่ต้านการอักเสบ (anti-inflammatory mediators)

- **กระตุ้นเซลล์โดยตรง (Direct Cell Stimulation):** กระตุ้นการทำงานของเซลล์ที่สำคัญต่อการหายของแผล เช่น ไฟโบรบลาสต์ (fibroblasts) และเซลล์เยื่อผนังหลอดเลือด (endothelial cells) ให้เพิ่มจำนวนและเคลื่อนที่มายังบริเวณแผล

- **ส่งเสริมการสร้างหลอดเลือดใหม่ (Promote Angiogenesis):** การสร้างเส้นเลือดฝอยใหม่เป็นสิ่งจำเป็นในการนำสารอาหารมาเลี้ยงเนื้อเยื่อที่กำลังซ่อมแซมตัวเอง ด้วยเหตุผลเหล่านี้ PEMF จึงเป็นเครื่องมือที่น่าสนใจในการ "ปลดล็อก" แผลเรื้อรังออกจากภาวะชะงักงัน และกระตุ้นให้ร่างกายกลับเข้าสู่กระบวนการรักษาตามธรรมชาติอีกครั้ง

ข้อบ่งชี้และการประยุกต์ใช้ทางคลินิกในทางผิวหนัง

การบำบัดด้วย PEMF ได้รับการสำรวจสำหรับภาวะต่าง ๆ และการประยุกต์ใช้ในทางผิวหนังมีศูนย์กลางอยู่ที่ศักยภาพในการส่งเสริมการหายของแผล ข้อบ่งชี้เฉพาะ ได้แก่:

1. แผลเบาหวาน: PEMF อาจส่งเสริมการรักษาในแผลที่เท้าจากเบาหวาน ซึ่งเป็นภาวะแทรกซ้อนที่พบบ่อยและทำลาย

2. แผลหลอดเลือดดำที่ขา: PEMF อาจใช้เป็นส่วนเสริมในการรักษาด้วยการรัด (compression therapy) มาตรฐานในการจัดการแผลหลอดเลือดดำที่ขา

3. แผลกดทับ: PEMF อาจช่วยในการรักษาแผลกดทับ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในผู้ป่วยที่มีข้อจำกัดในการเคลื่อนไหว

4. แผลผ่าตัด: PEMF อาจเร่งการรักษาและลดภาวะแทรกซ้อนในแผลหลังผ่าตัดได้

การบำบัดด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบพัลส์ (PEMF) คืออะไร?

Pulsed Electromagnetic Field Therapy (PEMF) เป็นวิธีการรักษาแบบไม่รุกล้ำที่ใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าพลังงานต่ำ

เพื่อกระตุ้นการรักษาตามธรรมชาติของร่างกาย¹ PEMF มีประวัติศาสตร์อันยาวนาน โดยมีต้นกำเนิดมาจากผลงานของ Michael Faraday และ James Clerk Maxwell ในช่วงต้นศตวรรษที่ 19 ในช่วงปลายศตวรรษที่ 19 และต้นศตวรรษที่ 20 Nikola Tesla ได้เริ่มศึกษาประโยชน์ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าต่อสุขภาพ² การค้นพบ piezoelectric effect ในกระดูกโดย Yasuda ในปี 1957 เป็นจุดเปลี่ยนสำคัญที่แสดงให้เห็นถึงศักยภาพของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าในการส่งเสริมการรักษากระดูก สิ่งนี้ได้นำไปสู่การพัฒนาอุปกรณ์ PEMF ซึ่งในขั้นต้นได้รับการออกแบบมาเพื่อรักษากระดูกหักและภาวะกระดูกไม่ติดที่ไม่ตอบสนองต่อการรักษาแบบเดิม³

การบำบัดด้วย PEMF เกี่ยวข้องกับการใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้ากับร่างกาย สนามแม่เหล็กเหล่านี้มีลักษณะเฉพาะคือความเป็นพัลส์ ความถี่ และความเข้ม อุปกรณ์ PEMF จะส่งพลังงานแม่เหล็กไฟฟ้าในช่วงเวลาสั้น ๆ ซึ่งสามารถแทรกซึมเข้าสู่เนื้อเยื่อและมีปฏิสัมพันธ์กับเซลล์ได้ พารามิเตอร์ของ PEMF สามารถปรับเปลี่ยนเพื่อให้ได้ผลการรักษาที่เฉพาะเจาะจง²

หลักการทำงานของเครื่อง PEMF

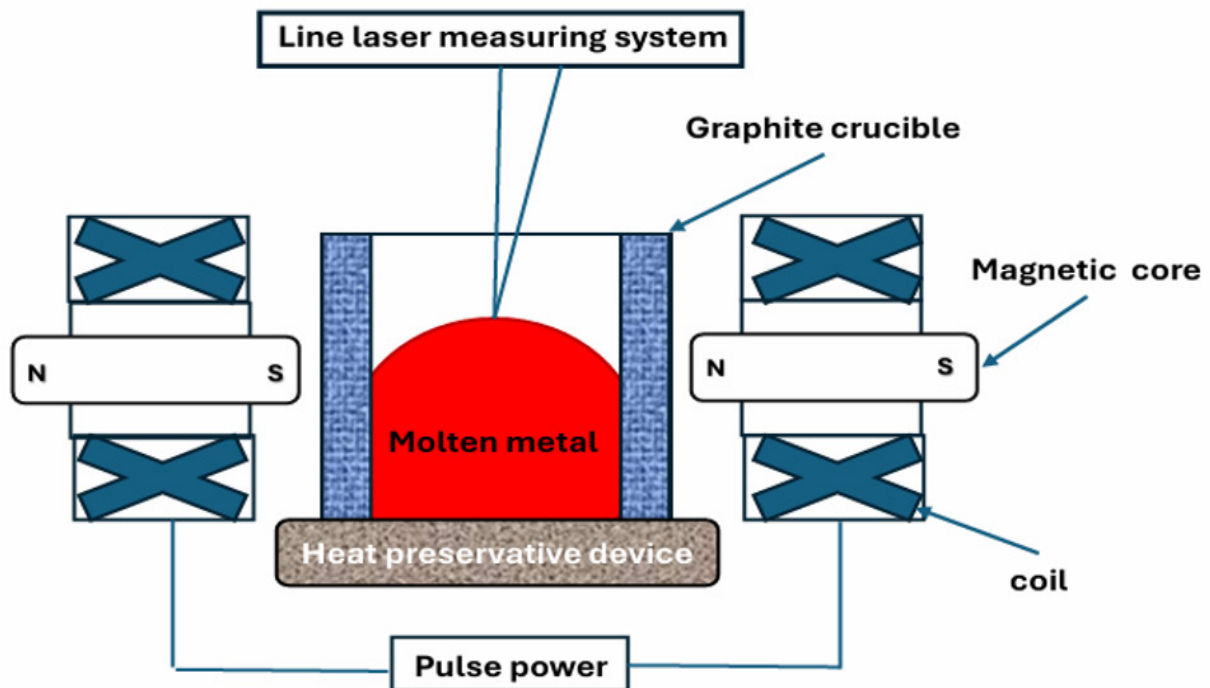
เครื่องนี้ใช้สนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบพัลส์ในการจัดการโลหะหลอมเหลวภายในเบ้าหลอมกราไฟท์ เมื่อกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์ถูกส่งผ่านขดลวด มันจะสร้างสนามแม่เหล็กที่เปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว สนามแม่เหล็กนี้จะกระตุ้นให้เกิดกระแสไฟฟ้าในโลหะหลอมเหลว ซึ่งกระแสไฟฟ้าเหล่านี้จะสร้างสนามแม่เหล็กของตัวเอง ซึ่งโต้ตอบกับสนามแม่เหล็กที่สร้างโดยขดลวด ดังภาพที่ 1

การโต้ตอบของสนามแม่เหล็กเหล่านี้สามารถใช้เพื่อ:

- กวนโลหะหลอมเหลว: การกวนนี้ช่วยให้มั่นใจได้ว่าอุณหภูมิและส่วนประกอบของโลหะมีความสม่ำเสมอ
- ควบคุมรูปร่างของโลหะหลอมเหลว: สนามแม่เหล็กสามารถใช้เพื่อควบคุมรูปร่างและการไหลของโลหะหลอมเหลว
- ให้ความร้อนกับโลหะหลอมเหลว: กระแสไฟฟ้านี้สามารถสร้างความร้อนจากภายในโลหะหลอมเหลว

ระบบวัดด้วยเลเซอร์แบบเส้นใช้เพื่อตรวจสอบระดับของโลหะหลอมเหลวในเบ้าหลอมแบบเรียลไทม์

โดยรวมแล้ว ระบบนี้ใช้วิธีการควบคุมแบบไม่สัมผัส (non-contact) ในการจัดการโลหะหลอมเหลว ซึ่งมีประโยชน์อย่างยิ่งสำหรับการใช้งานที่ต้องมีการควบคุมที่แม่นยำและสม่ำเสมอ



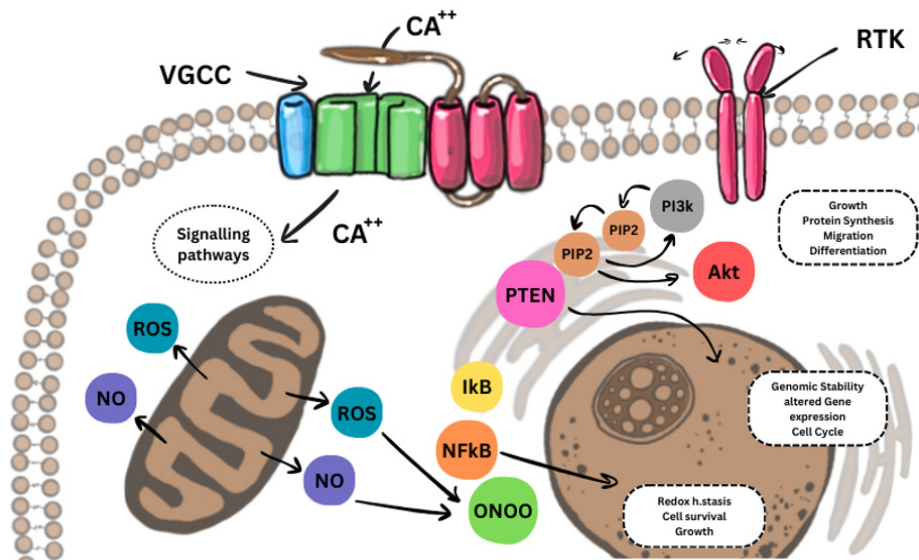
ภาพที่ 1 แสดงองค์ประกอบของเครื่องสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบพัลส์ (PEMF)⁴

- **Graphite crucible (เบ้าหลอมกราไฟท์):** คือภาชนะที่บรรจุโลหะหลอมเหลว
- **Molten metal (โลหะหลอมเหลว):** โลหะที่ถูกให้ความร้อนจนถึงจุดหลอมเหลว
- **Coil (ขดลวด):** ขดลวดนำไฟฟ้าที่สร้างสนามแม่เหล็กเมื่อกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน
- **Magnetic core (แกนแม่เหล็ก):** วัสดุที่มีคุณสมบัติทางแม่เหล็กสูง (เช่น เหล็ก) ที่ใช้เพื่อเพิ่มความแข็งแรงของสนามแม่เหล็กที่สร้างโดยขดลวด
- **Pulsed power (กำลังไฟฟ้าแบบพัลส์):** แหล่งพลังงานที่จ่ายกระแสไฟฟ้าแบบพัลส์ให้กับขดลวด
- **Heat preservation device (อุปกรณ์รักษาความร้อน):** อุปกรณ์ที่ใช้สำหรับรักษาความร้อนของโลหะหลอมเหลวให้คงที่ ป้องกันการสูญเสียความร้อน
- **Line laser measuring system (ระบบวัดด้วยเลเซอร์แบบเส้น):** ระบบที่ใช้เลเซอร์ในการวัดระดับของโลหะหลอมเหลวในเบ้าหลอม

กลไกการออกฤทธิ์ในการรักษาแผลเรื้อรัง

PEMF ออกฤทธิ์ในการรักษาผ่านกลไกหลายอย่างในระดับเซลล์และระดับโมเลกุล ดังแสดงในภาพที่ 2

1. **การกระตุ้นเซลล์:** PEMF สามารถกระตุ้นเซลล์ประเภทต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการหายของแผล รวมถึงไฟโบรบลาสต์ เครตินโนไซต์ และเซลล์เยื่อบุผนังหลอดเลือด การกระตุ้นนี้สามารถนำไปสู่การเพิ่มจำนวน การเคลื่อนที่ และการสร้างเมทริกซ์นอกเซลล์ของเซลล์⁵
2. **การปรับการอักเสบ:** PEMF แสดงให้เห็นว่าสามารถปรับการตอบสนองต่อการอักเสบ ลดไซโตไคน์ที่ส่งเสริมการอักเสบ และส่งเสริมตัวกลางด้านการอักเสบ ซึ่งจะช่วยสร้างสภาพแวดล้อมที่เอื้ออำนวยต่อการซ่อมแซมเนื้อเยื่อมากขึ้น⁶
3. **การส่งเสริมการสร้างหลอดเลือด:** PEMF สามารถส่งเสริมการสร้างหลอดเลือดใหม่ (angiogenesis) ซึ่งมีความสำคัญต่อการส่งออกซิเจนและสารอาหารไปยังบริเวณแผล และสนับสนุนการสร้างเนื้อเยื่อใหม่⁷
4. **การปรับปรุงจุลภาค:** PEMF สามารถเพิ่มการไหลเวียนของเลือดและจุลภาค ซึ่งจะช่วยในการส่งปัจจัยสำคัญสำหรับการหายของแผล^{8,9}



ภาพที่ 2 แสดงถึงกลไกระดับเซลล์ของการตอบสนองต่อสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบพัลส์ (PEMF) และผลกระทบต่อวิถีสัญญาณ (signaling pathways) ภายในเซลล์ ซึ่งมีผลต่อการทำงานของเซลล์ แสดงให้เห็นว่า PEMF สามารถส่งผลต่อการทำงานของเซลล์ได้โดยการเปลี่ยนแปลงวิถีสัญญาณต่างๆ ภายในเซลล์ ซึ่งมีผลต่อการเจริญเติบโต การทำงาน และการอยู่รอดของเซลล์⁵

เยื่อหุ้มเซลล์ (Cell Membrane): แสดงเป็นโครงสร้างสองชั้นที่มีโมเลกุลไขมันเรียงตัวกันอยู่ มีโปรตีนที่ทำหน้าที่เป็นตัวรับสัญญาณ (receptors) แทรกอยู่

ตัวรับไทโรซีนไคเนส (Receptor Tyrosine Kinase – RTK): เป็นโปรตีนตัวรับสัญญาณที่อยู่บนเยื่อหุ้มเซลล์ ทำหน้าที่รับสัญญาณจากภายนอกเซลล์และส่งต่อไปยังภายในเซลล์

ช่องแคลเซียมควบคุมด้วยแรงดันไฟฟ้า (Voltage-Gated Calcium Channel – VGCC): เป็นโปรตีนช่องทางที่ควบคุมการไหลเข้าของแคลเซียมไอออน (Ca^{++}) เข้าสู่เซลล์

PI3K, PIP2, PIP3, Akt, PTEN: เป็นโมเลกุลและเอนไซม์ที่เกี่ยวข้องกับวิถีสัญญาณ PI3K/Akt ซึ่งมีบทบาทสำคัญในการควบคุมการเจริญเติบโต การสังเคราะห์โปรตีน การเคลื่อนที่ และการเปลี่ยนแปลงของเซลล์

ROS (Reactive Oxygen Species) และ NO (Nitric Oxide): เป็นโมเลกุลที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการรีดอกซ์ (redox) ภายในเซลล์ มีบทบาทในการส่งสัญญาณและควบคุมการทำงานของเซลล์

NFkB และ IkB: เป็นโปรตีนที่เกี่ยวข้องกับวิถีสัญญาณ NFkB ซึ่งมีบทบาทในการควบคุมการตอบสนองต่อการอักเสบ และการอยู่รอดของเซลล์

ONOO- (Peroxynitrite): เป็นโมเลกุลที่เกิดขึ้นจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง ROS และ NO มีบทบาทในการส่งสัญญาณและอาจทำให้เกิดความเสียหายต่อเซลล์

ภาพที่ 2 นี้แสดงให้เห็นว่า PEMF สามารถส่งผลต่อการทำงานของเซลล์ได้หลายวิธี ดังนี้

1. **การเหนี่ยวนำตัวรับสัญญาณ (RTK):** PEMF สามารถกระตุ้นตัวรับ RTK ซึ่งจะส่งผลให้เกิดการเปิดใช้งานวิถีสัญญาณ PI3K/Akt วิถีสัญญาณนี้มีบทบาทสำคัญในการควบคุมการเจริญเติบโต การสังเคราะห์โปรตีน และการทำงานอื่นๆ ของเซลล์

2. **การควบคุมช่องแคลเซียม (VGCC):** PEMF สามารถส่งผลต่อการทำงานของช่อง VGCC ซึ่งควบคุมการไหลเข้าของแคลเซียมไอออนเข้าสู่เซลล์

3. **การเปลี่ยนแปลงระดับ ROS และ NO:** PEMF สามารถส่งผลต่อระดับของ ROS และ NO ภายในเซลล์

4. **การกระตุ้นวิถีสัญญาณ NFkB:** PEMF สามารถกระตุ้นวิถีสัญญาณ NFkB ซึ่งมีบทบาทในการควบคุมการตอบสนองต่อการอักเสบและการอยู่รอดของเซลล์

หลักฐานและประสิทธิภาพ

งานวิจัยหลายชิ้นได้ตรวจสอบประสิทธิภาพของการบำบัดด้วย PEMF ในการรักษาแผลเรื้อรัง² การทดลองทางคลินิกและการทบทวนอย่างเป็นระบบชี้ให้เห็นว่าการบำบัดด้วย PEMF สามารถปรับปรุงผลลัพธ์การหายของแผลเมื่อเทียบกับการดูแลมาตรฐาน⁵ อย่างไรก็ตาม พารามิเตอร์ PEMF ที่เหมาะสมและแผนการรักษาอาจแตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับประเภทของแผลและปัจจัยของผู้ป่วยแต่ละราย⁶

ตารางสรุปผลการศึกษาการรักษาแผลเรื้อรังด้วยเครื่อง PEMF

ประเภทแผล	ชื่องานวิจัย (วารสาร)	ผู้เขียน (ปี)	รูปแบบการศึกษา	จำนวนผู้ป่วย	พารามิเตอร์ PEMF	ผลลัพธ์หลัก
แผลเบาหวาน	The Efficacy of Adding Electromagnetic Therapy or Laser Therapy to Medications in Patients With Diabetic Peripheral Neuropathy (Journal of lasers in medical sciences)	Shanb, A.A., et al. (2020)	Randomized Controlled Trial	ไม่ได้ระบุชัดเจน	ความถี่: หลาย, ความเข้ม: หลาย, ระยะเวลา: หลาย	ลดอาการปวด, เพิ่มการไหลเวียนโลหิต
แผลหลอดเลือดดำที่ขา	A portable pulsed electromagnetic field (PEMF) device to enhance healing of recalcitrant venous ulcers: a double-blind, placebo-controlled clinical trial (Br J Dermatol)	Stiller MJ, et al. (1992)	Double-blind, Placebo-controlled Clinical Trial	ไม่ได้ระบุชัดเจน	ความถี่: 12 Hz, ความเข้ม: 1.2 mT, ระยะเวลา: ไม่ได้ระบุชัดเจน	เพิ่มอัตราการหายของแผล
แผลกดทับ	The effects of non-thermal pulsed electromagnetic energy on wound healing of pressure ulcers in spinal cord-injured patients: a randomized, double-blind study (Ostomy Wound Manage)	Salzberg CA, et al. (1995)	Randomized, Double-blind Study	ไม่ได้ระบุชัดเจน	ความถี่: ไม่ได้ระบุชัดเจน, ความเข้ม: ไม่ได้ระบุชัดเจน, ระยะเวลา: ไม่ได้ระบุชัดเจน	ลดความเสี่ยงของแผล, เร่งการสร้างเนื้อเยื่อ
แผลเรื้อรังทั่วไป	Assessment of the effect of pulsed electromagnetic field therapy in the treatment of chronic wounds (Microbes and Infectious Diseases)	Hussain MS et al. (2023)	Prospective non-randomized clinical trial	50	ไม่ได้ระบุ	อัตราการหายของแผล 78%, ลดอาการปวดและบวม

ข้อควรพิจารณาและความท้าทายในการนำไปใช้

แม้ว่า PEMF จะมีศักยภาพสูง แต่ยังคงมีความท้าทายที่ต้องพิจารณาเพื่อนำไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพ:

- **ความหลากหลายของพารามิเตอร์ (Parameter Heterogeneity):** งานวิจัยที่ผ่านมาใช้พารามิเตอร์ของ

PEMF (เช่น ความถี่, ความเข้ม, รูปแบบของคลื่น, ระยะเวลา) ที่แตกต่างกันอย่างมาก ทำให้ยากต่อการเปรียบเทียบผลและกำหนดมาตรฐานการรักษาที่ชัดเจน การใช้วิธี Biofeedback (VAS) อาจเป็นคำตอบของปัญหานี้โดยช่วยให้สามารถกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับแต่ละบุคคลได้

• **ระยะของแผล (Wound Stage):** มีหลักฐานชี้ว่า PEMF ให้ผลดีที่สุดในระยะเริ่มต้นของกระบวนการหายของแผล (early proliferative phase) แต่ อาจมีผลยับยั้งในระยะท้าย (late remodeling phase) ดังนั้น การประเมินระยะของแผล ก่อนให้การรักษามีความสำคัญอย่างยิ่ง

• **ความปลอดภัยและข้อห้ามใช้:** โดยทั่วไป PEMF มีความปลอดภัยสูงและมีผลข้างเคียงน้อยมาก อย่างไรก็ตาม มีข้อห้ามใช้ที่ชัดเจนในผู้ป่วยที่

ตั้งครีร หรือมีอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์/โลหะฝังในร่างกาย เช่น เครื่องกระตุ้นหัวใจ (pacemaker)

บทสรุป

การบำบัดด้วยสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบพัลส์ (PEMF) เป็นเทคโนโลยีการรักษาเสริมที่มีหลักการทางวิทยาศาสตร์รองรับและแสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่น่าสนใจอย่างยิ่งในการรักษาแผลเรื้อรังในผู้ป่วยเบาหวาน ด้วยกลไกการออกฤทธิ์ที่หลากหลาย ทั้งการลดการอักเสบ, การส่งเสริมการไหลเวียนโลหิต, และการกระตุ้นเซลล์โดยตรง ทำให้ PEMF สามารถเข้าไปแก้ไขกลไกที่ผิดปกติซึ่งเป็นสาเหตุให้แผลไม่หายได้

อย่างไรก็ตาม เพื่อให้การนำ PEMF มาใช้ทางคลินิกเกิดประโยชน์สูงสุด จำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติม โดยเฉพาะอย่างยิ่ง การศึกษาทางคลินิกแบบสุ่มและมีกลุ่มควบคุม (Randomized Controlled Trial – RCT) ที่มีขนาดใหญ่ และออกแบบมาอย่างดี เพื่อ:

1. **กำหนดพารามิเตอร์การรักษาที่เหมาะสมที่สุด:** ศึกษาเปรียบเทียบผลของความถี่, ความเข้ม, และระยะเวลาที่แตกต่างกัน

2. **พิสูจน์ประสิทธิภาพของเทคนิค Biofeedback (VAS):** ประเมินว่าการรักษาแบบเฉพาะบุคคลให้ผลดีกว่าการใช้พารามิเตอร์มาตรฐานหรือไม่

3. **ระบุกลุ่มผู้ป่วยที่ได้รับประโยชน์สูงสุด:** เพื่อให้สามารถเลือกใช้เทคโนโลยีนี้ได้อย่างคุ้มค่าและมีประสิทธิภาพ การบำบัดด้วย PEMF เป็นวิธีการรักษาเสริมที่มีแนวโน้มในการส่งเสริมการรักษาแผลเรื้อรังทางผิวหนัง เป็นเครื่องมือที่มีคุณค่าในการจัดการภาวะที่ท้าทายเหล่านี้ จำเป็นต้องมีการวิจัยเพิ่มเติมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพแผนการรักษา และกำหนดประชากรผู้ป่วยเฉพาะที่อาจได้รับประโยชน์สูงสุดจากการบำบัดด้วย PEMF

เอกสารอ้างอิง

1. Mayer Y, Shibli JA, Saada HA, Melo M, Gabay E, Barak S, et al. Pulsed electromagnetic therapy: Literature review and current update. *Brazilian Dental Journal*. 2024;35:e246109.

2. Helmy J, Valdebran M. An integrative review of pulsed electromagnetic field therapy (PEMF) and wound healing. *Wound Practice and Research*. 2024;32(2):58-65.
3. Kranj M, Mlinaric-Rascan I. The effect of pulsed electromagnetic fields on bone regeneration. *Journal of Tissue Engineering*. 2023;14. <https://doi.org/10.1177/20417314231186736>
4. Wu X, Liu R, Gao J, Luo J, Geng H. Analysis on the characteristics of pulsed electromagnetic force and the fluctuation behavior of molten metal free surface under pulsed magnetic field. *Mater Res Express*. 2020;7. <https://doi.org/10.1088/2053-1591/ab8df2>.
5. Funk RHW. Coupling of pulsed electromagnetic fields (PEMF) therapy to molecular grounds of the cell. *American Journal of Translational Research*. 2018;10(5):1260–72.
6. Musaev AV, Guseinova SG, Imamverdieva SS. The use of pulsed electromagnetic fields with complex modulation in the treatment of patients with diabetic polyneuropathy. *Neuroscience and Behavioral Physiology*. 2023;33(8):795–9. <https://doi.org/10.1023/A:1025756918650>.
7. Isakov E, Ring H, Mendelevich I, Boduragin N, Susak Z, Kupfert Y, Marchetti N. Electromagnetic stimulation of stump wounds in diabetic amputees. *Journal of Rehabilitation Sciences*. 1996;9(2):49–52.
8. Nezamtaheri MS, Goliaei B, Shariatpanahi SP, Ansari AM. Differential biological responses of adherent and non-adherent (cancer and non-cancerous) cells to variable extremely low frequency magnetic fields. *Scientific Reports*. 2022;12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-22856-9>.
9. Flatscher J, Pavez Lorie E, Mittermayr R, Meznik P, Slezak P, Redl H, et al. Pulsed electromagnetic fields (PEMF)-physiological response and its potential in trauma treatment. *International Journal of Molecular Sciences*. 2023;24(14):11239.