

การรักษาด้วยคลื่นช็อกในความผิดปกติระบบโครงสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อ

ปริญญา เลิศสินไทย *

Received: September 17, 2014

Revised & Accepted: November 4, 2014

บทคัดย่อ

คลื่นช็อก หรือ คลื่นกระแทก (shock wave) เป็นคลื่นเสียงที่มีพลังงานสูง ที่ถูกสร้างจากความต่างศักย์สูงภายใต้คลื่นน้ำภายในเครื่องสร้างคลื่นช็อก ซึ่งมีคุณลักษณะทางกายภาพของคลื่นช็อกเป็นแรงดันบวกอย่างรวดเร็ว และแรงดันลบ ที่เคลื่อนผ่านเนื้อเยื่อ ในช่วงแรกนั้นคลื่นช็อกถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้สลายนิ่วภายนอกอวัยวะ (extracorporeal shock wave lithotripsy: ESWL) นอกจากนี้คลื่นช็อกยังถูกนำมาประยุกต์ใช้ในการรักษาความผิดปกติของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อมานานกว่า 20 ปี โดยเฉพาะภาวะที่มีการอักเสบเรื้อรังของเนื้อเยื่อ เช่น เอ็นข้อไหล่อักเสบทั้งแบบมีหินปูนและไม่มีหินปูน เอ็นฝ่าเท้าอักเสบเรื้อรัง เอ็นกล้ามเนื้อลูกสะบ้าอักเสบเรื้อรัง เป็นต้น ดังนั้นในการทบทวนวรรณกรรมครั้งนี้จึงมีความสนใจที่จะทบทวนหลักการพื้นฐาน คุณสมบัติ การแบ่งชนิด ค่าพารามิเตอร์ ข้อบ่งชี้ ข้อห้าม และภาพรวมของประสิทธิภาพการรักษาด้วยคลื่นช็อกในภาวะความผิดปกติของระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ แม้ว่ากลไกการรักษานั้นจะไม่ใช่การสลายหรือทำลายเนื้อเยื่อ และยังไม่ทราบกลไกการรักษาที่แน่ชัดของคลื่นช็อก แต่พบว่ากลไกการรักษานั้นจะเน้นการกระตุ้นขบวนการซ่อมแซม และการสร้างเนื้อเยื่อใหม่ และมีรายงานการศึกษาก่อนหน้านี้รายงานว่ามีประสิทธิภาพดีในการรักษาเอ็นฝ่าเท้าอักเสบเรื้อรัง และเอ็นข้อไหล่อักเสบแบบมีหินปูน จึงจัดได้ว่าคลื่นช็อกเป็นเครื่องมือรักษาทางเลือกและมีประสิทธิภาพเพียงพอในการรักษาความผิดปกติทางระบบโครงสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อบางชนิดได้

คำสำคัญ : การรักษาด้วยคลื่นช็อก, คลื่นกระแทก, ระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ



Extracorporeal shock wave therapy in musculoskeletal disorders

Parinya Lertsinthalai

Abstract

Shock waves as high energy acoustic waves are generated from underwater explosion with high voltage condition in shockwave generator. The physical characteristics of shockwave are a high rapid positive peak pressure and a negative pressure that propagates rapidly through the body tissue. Shock wave was primarily used to treat lithotripsy (kidney stone) by outside the body technique (called extracorporeal shockwave lithotripsy: ESWL). The application of shock wave has been utilized in the treatment of musculoskeletal disorders for over 20 years. Especially, it was used to treat chronic inflammation of tissue such as with or without calcific tendinitis of the shoulder, chronic proximal plantar fasciitis and chronic patellar tendinopathy. This narrative literature review was undertaken to provide an overview of principle and physical characteristics, classification, physical parameters, indication, contraindication and the therapeutic effectiveness of shockwave therapy in musculoskeletal disorders. Even though, the possibly therapeutic mechanism of musculoskeletal disorders was not used to disintegrate tissue and the exact mechanism of shock wave therapy was not known. But, the mechanism of therapeutic effects was emphasis in facilitating healing process and tissue regeneration. Previous studies have reported effective in the treatment of plantar fasciitis and calcific tendinitis. Therefore, shock wave therapy is an alternative therapeutic agent and an effective therapy in some chronic musculoskeletal conditions.

Keywords : Extracorporeal shock wave therapy, Shock wave, Musculoskeletal disorders

บทนำ

ปัจจุบันได้มีการบำบัดด้วยคลื่นช็อก หรือคลื่นกระแทก (extracorporeal shock wave therapy: ESWT) โดยนำมาใช้ในการรักษาผู้ป่วยทางระบบโครงสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อ⁽¹⁻³⁾ ในช่วงแรกคลื่น ESWT ถูกนำมาใช้รักษาในการสลายนิ่วทางเดินปัสสาวะ ตั้งแต่ปี ค.ศ. 1970 เป็นต้นมา^(2, 4) โดยนักวิทยาศาสตร์ชาวเยอรมันเป็นผู้คิดเทคนิคการรักษาตั้งแต่สมัยสงครามโลกครั้งที่ 2 (ค.ศ. 1950)⁽²⁾ ในปี ค.ศ.1991 Valchanou และ Michailov ได้เริ่มนำ ESWT มารักษาภาวะกระดูกเชื่อมติดซ้ำ และภาวะกระดูกไม่เชื่อมติด โดยพบว่าคลื่นช็อกสามารถกระตุ้นการสร้างกระดูกใหม่ได้ (osteogenesis) ทำให้ช่วยกระตุ้นการซ่อมแซม และการยึดติดของกระดูก โดยเฉพาะในช่วง 10-15 ปีที่ผ่านมาได้มีการนำ ESWT มาประยุกต์ใช้รักษาผู้ป่วยทางระบบโครงสร้างและกระดูกมากขึ้น เช่น เอ็นฝ่าเท้าอักเสบ (plantar fasciitis) ภาวะหินปูนเอ็นข้อไหล่อักเสบ (calcified tendinitis of shoulder) ภาวะเอ็นยึดลูกสะบ้าอักเสบ (patellar tendinopathy หรือ jumper's knee) หรือภาวะจุดเกาะเอ็นที่ข้อศอกด้านนอกอักเสบ (lateral epicondylitis) เป็นต้น โดยในปี ค.ศ. 2002 ถึง 2004, มีรายงานว่าองค์การอาหารและยา (Food and Drug Administration; FDA) ของประเทศสหรัฐอเมริกาได้รับรองการรักษาเอ็นฝ่าเท้าอักเสบเรื้อรัง (chronic proximal plantar fasciitis) ด้วยการใช้ electrohydraulic shock wave machines ของ OssaTronTM และ OrthoSpecTM^(1, 2, 5, 6) และ การใช้ SONOCURTM ในการรักษาภาวะปุ่มกระดูกด้านนอกข้อศอกอักเสบเรื้อรัง (chronic lateral epicondylitis)^(1,7) นอกจากนี้ ESWT ยังเป็นวิธีที่ยอมรับในยุโรป อเมริกาเหนือและเอเชีย⁽¹⁾ ปัจจุบันจึงมีความสนใจในการใช้ ESWT บำบัดผู้ป่วยทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ ในแพทย์ด้านเวชศาสตร์ฟื้นฟู และกายภาพบำบัดกันอย่างแพร่หลายมากขึ้น ESWT จึงเป็นเหมือนวิธีการรักษาใหม่ในการรักษาภาวะอักเสบเรื้อรังต่างๆ ในทางระบบโครงสร้างและกล้ามเนื้อในประเทศไทย

บทความนี้เน้นอธิบายถึงพื้นฐานของคลื่นช็อกและการนำ ESWT ไปใช้ในทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อที่พบได้บ่อยทางเวชปฏิบัติในด้านเวชศาสตร์ฟื้นฟูและกายภาพบำบัด โดยอ้างอิงหลักฐานเชิงประจักษ์ ซึ่งพบว่าคลื่นช็อกชนิดรวมคลื่น (focused-ESWT: F-ESWT) เป็นชนิดที่สามารถให้พลังงานสูงรวมเป็นจุดเดียว โดยมีเส้นผ่าน

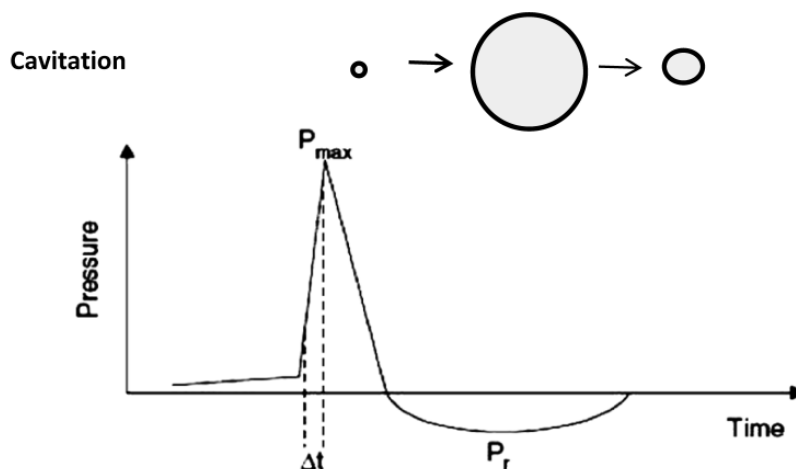
ศูนย์กลางประมาณ 2-8 มิลลิเมตร มีประสิทธิภาพในการรักษาโรคทางระบบกระดูกและกล้ามเนื้อเรื้อรังบางชนิด^(8, 9)

1. คุณลักษณะของคลื่นช็อก หรือ คลื่นกระแทกในการบำบัด⁽¹⁰⁻¹²⁾

โดยพื้นฐานของคลื่นช็อกจัดเป็นคลื่นเสียงจึงมีคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเสียง เช่น การสะท้อนกลับ (reflection) การหักเห (refraction) เมื่อผ่านตัวกลางที่มีความหนาแน่น และค่าความต้านทานของเสียง (acoustic impedance: Z) ที่แตกต่างกัน โดยคลื่นช็อกเป็นคลื่นเสียงที่ถูกอัดกระแทกด้วยแรงดันสูงมากจนมีความเร็วของอนุภาคเสียงที่มีความเร็วสูง (10 มิลลิวินาที, 1 ในแสนวินาที) ทำให้คลื่นช็อกมีความเร็วเหนือเสียง ซึ่งพบว่าความเร็วของคลื่นช็อกในน้ำมีค่าเท่ากับ 1,700 เมตร/วินาที ในขณะที่ความเร็วเสียงทั่วไปในน้ำมีค่าเท่ากับ 1,480 เมตร/วินาที นอกจากนี้คลื่นช็อกยังมีความสามารถในการทะลุผ่านตัวกลางชนิดต่างๆ ได้มากกว่าเสียงอีกด้วย โดยพบว่าถ้าคลื่นเสียงเดินทางในตัวกลางชนิดเนื้อเดียวกัน เช่น น้ำกลั่น จะพบว่าจะไม่เกิดการสะท้อนของคลื่นเสียง แต่ในเนื้อเยื่อที่ต่างชนิดกัน หรือเดินทางจากตัวกลางหนึ่งไปอีกตัวกลางหนึ่ง เช่น จากน้ำไปยังน้ำมัน หรือจากชั้นไขมันไปยังชั้นกล้ามเนื้อ จะพบว่าคลื่นเสียงจะมีการสะท้อนกลับบางส่วนในบริเวณรอยต่อผิวสัมผัสของตัวกลาง และมีการหักเหของคลื่นเสียงได้ คุณลักษณะพื้นฐานของคลื่นช็อก (ESWT) จะต้องมียุคคุณลักษณะ คือ คลื่นมีลักษณะเป็นชนิดไบเฟส (biphasic pressure wave) ที่มีแรงดันบวก (+, positive pressure = แรงกดอัด) ขนาดปริมาณสูงอย่างรวดเร็ว (high peak pressure: 50-100 bars, mega-Pascal's; MPa) มีระยะเวลาของการสูงขึ้นของแรงดันน้อยกว่า 10 นาโนวินาที (steep onset: <10 ns) และตามด้วยแรงดันลบ (-, negative pressure = แรงดึง) ขนาดต่ำ (รูปที่ 1) ซึ่งจะมีผลต่อการสร้างฟองอากาศและทำให้ฟองอากาศเกิดการสั่นสะเทือน เกิดการไหลของของเหลวรอบฟองอากาศอย่างรวดเร็ว (acoustic streaming) ในบริเวณที่ได้รับคลื่นช็อก ซึ่งมีผลต่อการเกิดผลทางชีวภาพ แต่ถ้าระดับพลังงานคลื่นช็อกสูงมากจะทำให้ฟองอากาศมีขนาดใหญ่ขึ้นและเกิดการยุบตัว ด้วยความเร็วสูงจนทำให้เกิดแรงดันน้ำพลังงานสูง (high-energy water jets) และการเพิ่มของอุณหภูมิอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดผลเสียต่อเนื้อเยื่อรอบๆ ได้ เช่น ทำลายเนื้อเยื่อได้ โดยคลื่นช็อก 1 ลูกจะมีขนาดคลื่นสั้นมากๆ คือ

ช่วงคลื่นจะน้อยกว่า 10 ไมโครวินาที และมีความถี่คลื่นประมาณ 16 ถึง 20 เฮิร์ตซ์ (Hz) โดยคลื่นช็อกอาจจะเกิดขึ้นได้หลายๆลูกคลื่นพร้อมกันได้ ในธรรมชาติสามารถพบคลื่นช็อกได้ตามปรากฏการณ์ธรรมชาติ เช่น พายุ (เกิดจากการเคลื่อนกระโดดของประจุอิเล็กตรอนจำนวนมากพร้อมกัน) ซึ่งทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของพลังงานอย่างรวดเร็ว

เกิดการเปลี่ยนแปลงขยายตัวของกลุ่มแก๊สในบรรยากาศอย่างรวดเร็วจนคล้ายการระเบิด ทำให้เกิดการส่งพลังงานออกมาเป็นคลื่นช็อกไปไกล เมื่อมีการปะทะกับกระดูกหรือของแข็ง จึงเกิดการสั่นสะเทือนและพลังงานจะค่อยๆสูญเสียและสลายตัวกลายเป็นคลื่นเสียงทั่วไปในที่สุด⁽¹⁰⁻¹²⁾



รูปที่ 1 แสดงคุณลักษณะของคลื่นช็อก (shock wave characteristics) ซึ่งจัดเป็นคลื่นแรงดันชนิดหนึ่ง (pressure wave) โดยค่า P_{max} คือค่าแรงดันบวกของคลื่นสูงสุด (positive compression wave), P_r คือค่าแรงดันลบของคลื่น (negative tensile wave) โดยพบว่าค่านี้จะเป็นตัวกระตุ้นให้สร้างฟองอากาศ (cavitation or bubbles) และ Δt คือระยะเวลาของการสูง

เมื่อเปรียบเทียบคลื่นช็อก (shock wave) กับ คลื่นอัลตราซาวด์ (ultrasound wave; US) พบว่า คลื่นช็อกนั้นแตกต่างจากคลื่นอัลตราซาวด์ โดยคลื่นอัลตราซาวด์จะมีลักษณะคลื่นชนิดไบเฟส (biphasic pressure wave) ที่มีแรงดันสูงสุดประมาณ 0.5 MPa ในขณะที่คลื่นช็อกจะมีแรงดันสูงสุดได้ 50-100 MPa ดังนั้นคลื่นช็อกจึงมีแรงดัน (peak pressure) สูงกว่าคลื่นอัลตราซาวด์ ประมาณ 100 ถึง 200 เท่า นอกจากนี้พบว่าคลื่นอัลตราซาวด์ (ความถี่ 1-3 MHz) จะมีค่าความเร็วสูงระหว่าง 1,400 ถึง 1,600 เมตรต่อวินาที ในขณะที่คลื่นช็อกมีความเร็วประมาณ 1,700 เมตรต่อวินาที ในน้ำจึงทำให้คลื่นช็อกมีความเร็วกว่าคลื่นอัลตราซาวด์ นอกจากนี้คลื่นช็อกมีลักษณะคลื่นพื้นฐานมาจากคลื่นเสียง ดังนั้นจึงต้องอาศัยเจลดักตัวกลางแทรกระหว่างหัวส่งคลื่นกับผิวหนังในการส่งถ่ายพลังงานเข้าร่างกาย เพื่อลดการสะท้อนหักเห ของพลังงานคลื่นช็อก (attenuation) แต่อย่างไรก็ตาม คลื่นช็อกจะมีการสูญเสียพลังงานมากหรือน้อยจะขึ้นอยู่กับความแตกต่างของค่าตัวกลาง บริเวณรอยต่อระหว่างเนื้อเยื่อ

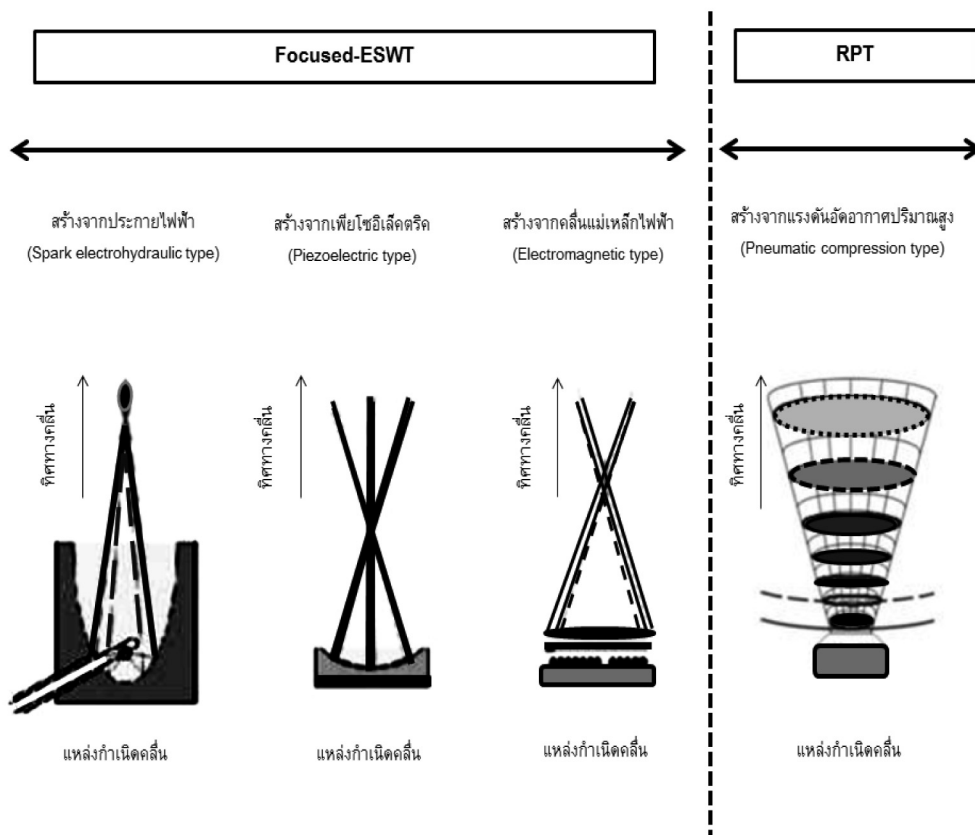
ถ้ามีความแตกต่างกันมาก จะทำให้เกิดการหักเห สะท้อนของพลังงานมาก เป็นต้น⁽¹⁰⁻¹²⁾

2. ส่วนประกอบของเครื่องผลิตคลื่นช็อกในการบำบัด^(1, 2, 13)

โดยปกติเครื่อง ESWT จะประกอบด้วย 4 ส่วนหลัก คือ ส่วนสร้างกำเนิดคลื่นช็อก (shock wave generators) ส่วนโฟกัส (focusing) ส่วนหาตำแหน่ง (localizing) และบริเวณผิวส่วนที่ส่งถ่ายพลังงานเข้าสู่ร่างกาย (contact surface) โดยแต่ละส่วนมีหน้าที่ดังนี้

2.1 ส่วนสร้างกำเนิดคลื่นช็อก

แบ่งออกเป็น 3 ชนิดหลักคือ ชนิดสร้างจากประกายไฟฟ้า (spark electrohydraulic type) ชนิดสร้างจากแหล่งกำเนิดเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric type) และชนิดสร้างจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic type) โดยแบ่งตามกลไกการสร้างคลื่นช็อกที่ต่างกัน (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 การแบ่งชนิดแหล่งกำเนิดคลื่นช็อก (shock wave) แบบ focused-ESWT (F-ESWT) และ radial pulse therapy (RPT)

2.1.1 ชนิดแหล่งกำเนิดที่สร้างจากประกายไฟฟ้า จะสร้างคลื่นเสียงพลังงานสูง (high energy acoustic waves) ด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว โดยการผ่านความต่างศักย์ระดับสูงไปที่ขั้วไฟฟ้า (14-28 Kilo-voltages: kV) ทำให้สร้างประกายไฟ (spark discharge) ขึ้นภายใต้ใต้น้ำ (underwater explosion) ทำให้คลื่นช็อกเกิดขึ้น โดยคลื่นช็อกจะถูกจานสะท้อนที่มีรูปร่างเป็นครึ่งวงรี (elliptical reflector) บังคับทิศทางคลื่น ให้รวมกันเป็นจุดเดียวกัน (focal volume) โดยจุดรวมพลังงาน (focal point) นี้คือผลรวมของค่าความหนาแน่นของพลังงานทั้งหมดของพื้นที่หนึ่งตารางมิลลิเมตรต่อลูกคลื่น (total energy flux density) ที่ผ่านเข้าไปในเนื้อเยื่อร่างกาย ซึ่งกลไกการเกิดคลื่นช็อกชนิดนี้จะคล้ายกับการเกิดฟ้าแลบ-ฟ้าร้อง

2.1.2 ชนิดแหล่งกำเนิดที่สร้างจากเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric type) โดยคลื่นช็อกนี้จะถูกสร้างจากผลึกเซรามิกเพียโซอิเล็กทริกจำนวนมาก (>1,000 หน่วย) ที่วางเรียงกันบนด้านในส่วนที่โค้ง (concave side) ของจานรูปโค้ง โดยการวางผลึกนี้จะวางให้ผลึกทั้งหมดมี

ทิศทางการยืดของผลึกออกไปในทิศทางเดียวกัน (polarized expansion) เมื่อผลึกเหล่านี้ได้รับกระแสไฟฟ้าไหลผ่าน ทำให้เกิดการสร้างคลื่นแรงดัน (pressure pulse) พร้อมๆกันในปริมาณที่สูงภายในน้ำ เกิดเป็นคลื่นช็อกเกิดขึ้น

2.1.3 ชนิดแหล่งกำเนิดที่สร้างจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า เป็นการสร้างคลื่นช็อกจากการสร้างสนามแม่เหล็กจากขดลวดและแผ่นโลหะชนิดที่เป็น metallic membrane โดยเมื่อปล่อยกระแสไฟฟ้าผ่านขดลวด ในปริมาณที่สูงจะทำให้เกิดการสร้างสนามแม่เหล็กและสนามแม่เหล็กนี้จะเหนี่ยวนำให้แผ่นโลหะ metallic membrane เกิดการสั่นสะเทือนอย่างรวดเร็ว มีผลทำให้เกิดการสร้างคลื่นช็อกออกมา โดยใช้เลนส์ในการโฟกัสคลื่นช็อกให้ไปรวมกันที่ตำแหน่งเดียวกัน (focal therapeutic point) โดยกลไกการสร้างชนิดนี้จะคล้ายกับการทำงานของลำโพงวิทยุ (stereo loudspeaker)

2.2 ส่วนโฟกัส

ส่วนโฟกัสหรือส่วนที่ทำหน้าที่ในการรวมคลื่นช็อก (ESWT) ทำให้เกิดพลังงานของคลื่นช็อกสูงขึ้นที่จุดใดจุดหนึ่ง โดยจุดนี้จะได้รับพลังงานมากกว่าเนื้อเยื่อรอบๆที่อยู่นอกจุด

โฟกัส ทำให้บริเวณที่อยู่นอกจุดโฟกัสเกิดอันตรายได้น้อยลง ซึ่งกลไกของขั้นตอนนี้จะคล้ายกับการรวมแสงด้วยเลนส์นูน โดยส่วนที่เป็นจุดรวมแสงนั้นจะมีความเข้มของแสงมากที่สุด และเกิดการเปลี่ยนพลังงานเป็นความร้อนได้ ทำให้อุณหภูมิสูงกว่าบริเวณรอบๆ โดยการรวมพลังงานสามารถทำได้ 3 วิธีหลัก คือ การสะท้อน การรวมคลื่นโดยตรง และการใช้เลนส์เสียง (acoustic lens)

2.2.1 การสะท้อน จะทำการใช้งานสะท้อนที่มีรูปร่างเป็นครึ่งวงรี (semi-ellipsoid หรือ parabola shape) เป็นตัวสะท้อนคลื่น โดยวิธีนี้นิยมใช้กับแหล่งกำเนิดคลื่นชนิดที่สร้างจากประกายไฟฟ้า และชนิดที่สร้างจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า

2.2.2 การรวมคลื่นโดยตรง เป็นวิธีที่ต้องอาศัยหลักการวางของผลึกเพียโซอิเล็กทริก บนผิวด้านในของส่วนที่เป็นส่วนโค้งของวงกลม ซึ่งจะทำการจุดโฟกัสนั้นรวมกันกลายเป็นจุดเดียวกับจุดศูนย์กลางวงกลม ซึ่งจะทำให้เกิดจุดแหลมรวมกันเป็นจุดเดียวกับจุดศูนย์กลางวงกลม โดยวิธีนี้นิยมใช้กับแหล่งกำเนิดคลื่นชนิดเพียโซอิเล็กทริก

2.2.3 การใช้เลนส์เสียง เป็นการใช้เลนส์เสียง โดยการอาศัยหลักการหักเหของคลื่นเสียง ทำให้เกิดการรวมกันของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า คล้ายการรวมแสงด้วยเลนส์รวมแสง โดยวิธีนี้นิยมใช้กับแหล่งกำเนิดคลื่นชนิดเพียโซอิเล็กทริก บางรุ่นเท่านั้น

2.3 ส่วนหาตำแหน่ง^(1, 2, 13)

ส่วนหาตำแหน่งของก้อนหินปูน หรือตำแหน่งที่เกิดพยาธิสภาพ เป็นส่วนที่มีความจำเป็นมากในการรักษาด้วย F-ESWT ซึ่งอาจจะมีวิธีการหาตำแหน่งด้วยการใช้การสร้างภาพจำลองจากคลื่นเหนือเสียง (ultrasound imaging) การหาตำแหน่งด้วยการใช้ภาพถ่ายเอกซเรย์ร่วมกับการใช้สารรังสีทึบแสง (radiopaque contrast media) หรือสารที่ไม่ทึบรังสี (radiolucent contrast media) อย่างไรก็ตามที่นิยมใช้กันปัจจุบันคือการหาตำแหน่งด้วยการสร้างภาพจำลองจากคลื่นเหนือเสียง ซึ่งเป็นวิธีที่สะดวก ปลอดภัยจากการใช้สารรังสีเอกซ์ และเกิดโอกาสภาวะแทรกซ้อนจากการแพ้สารรังสี แต่อย่างไรก็ตามวิธีนี้มีข้อด้อยคือ ไม่สามารถใช้หาตำแหน่งของบริเวณที่มีโพรงอากาศแทรกอยู่ (air cavitation) ดังนั้นผู้ใช้ต้องฝึกหัดใช้ ultrasound imaging จนมีความชำนาญ และข้อด้อยของวิธีนี้คือการหาตำแหน่งด้วย ultrasound imaging มีความแม่นยำน้อยกว่าการถ่ายภาพเอกซเรย์

2.4 บริเวณส่วนที่ส่งถ่ายพลังงานเข้าสู่ร่างกาย^(1,2,13)

บริเวณนี้จะเป็นผิวสัมผัสระหว่างหัวส่งคลื่นกับบริเวณผิวหนังของส่วนที่ต้องการรักษา โดยในเครื่องรุ่นแรกๆ นั้นจะต้องสร้างคลื่นช็อกในอ่างแช่ทั้งตัว และต่อมาได้มีการพัฒนาหัวส่งคลื่นให้ทันสมัยขึ้น โดยใช้ถุงน้ำรองรับ หรือ แผ่นรองกันกระแทกร่วมกับการใช้เจล เพื่อลดการเกิดฟองอากาศแทรกระหว่างหัวส่งคลื่นกับผิวหนัง และสามารถนำคลื่นผ่านเข้าสู่ร่างกายได้ง่ายได้ ทำให้มีการสูญเสียพลังงานน้อยจากการหักเหหรือสะท้อนของคลื่น เนื่องจากค่าเจล (ultrasonic gel) มีค่าความต้านทานคลื่นเสียง (acoustic impedance: Z , $1.34 \times 10^6 \text{ Kg/m}^2\text{-sec}$) ซึ่งใกล้เคียงกับค่าความต้านทานคลื่นเสียงของเนื้อเยื่อ ดังนั้นจึงสามารถลดอัตราส่วนสะท้อนกลับ (reflection ratio) ระหว่างผิวหน้าสัมผัสได้ระหว่างตัวกลางทั้ง 2 ชนิด

3. การแบ่งชนิดของคลื่นช็อก

ปัจจุบันนี้สามารถแบ่งชนิดของคลื่นช็อกออกได้เป็น 2 ชนิดใหญ่ คือ แบบคลื่นช็อกชนิดโฟกัสรวมพลังงาน (focused-ESWT: F-ESWT) และแบบชนิดไม่โฟกัสรวมพลังงาน (un-focused shock wave therapy) หรือเรียกว่า คลื่นช็อกชนิดสนามแรงดันแผ่ออกจากศูนย์กลาง (radial shock wave therapy) ซึ่งนิยมเรียกว่า radial pulse therapy (RPT)^(8, 12) โดยทั้ง 2 ชนิดนี้มีความแตกต่างกันของลักษณะคลื่นพื้นฐานและผลการรักษาที่ต่างกัน^(1, 2, 12, 13)

3.1 แบบคลื่นช็อกชนิดโฟกัสรวมพลังงาน focused-ESWT หรือ F-ESWT

การที่เรียก “คลื่นช็อกชนิดโฟกัสรวมพลังงาน (F-ESWT)” เนื่องจากคลื่นช็อกชนิดนี้จะพบว่ามีพลังงานที่ถูกปล่อยออกมานั้นจะถูกรวมกันที่จุดเดียวกัน ทำให้จุดนั้นมีพลังงานสูงสุด (maximal pressure) และถูกส่งเข้าไปในเนื้อเยื่อร่างกายได้ลึก (deep penetration) โดย F-ESWT นี้จะพบได้จากแหล่งกำเนิดทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ ชนิดแหล่งกำเนิดที่สร้างจากประกายไฟฟ้า (spark electrohydraulic type) ชนิดแหล่งกำเนิดที่สร้างจากเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric type) และชนิดแหล่งกำเนิดที่สร้างจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic type) ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในเบื้องต้น โดยทั้ง 3 แหล่งกำเนิดคลื่นช็อกจะนิยมสร้างผ่านน้ำในตัวเครื่องสร้างกำเนิดคลื่น (generated in water inside the application) เพราะน้ำพบว่ามีค่า acoustic impedance (Z) ที่ใกล้เคียง

เคียงกับเนื้อเยื่อในร่างกายซึ่งจะทำให้คลื่นช็อกสามารถเข้าสู่ร่างกายได้ง่าย และมีการสูญเสียพลังงานจากการสะท้อนหักเหน้อย โดยการสร้างคลื่นทั้ง 3 ชนิดนี้ นิยมใช้ส่งพลังงานแบบจุกรวม (focused into specific region; focused-SWT: F-ESWT) ทำให้การสร้างคลื่นช็อก แบบนี้สามารถส่งผ่านไปในร่างกายได้ลึก เนื่องจากมีการส่งพลังงานจากการรวมพลังงานเป็นจุดเดียวกันในตำแหน่งเดียวกัน

3.2 แบบคลื่นช็อกชนิดสนามแรงดันแผ่ออกจากศูนย์กลาง

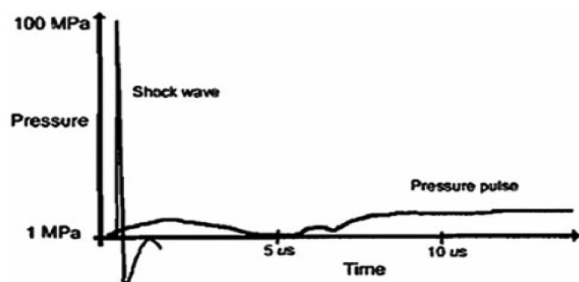
ในขณะที่มีบางบริษัทมีการสร้างคลื่นจากแรงดันอัดอากาศปริมาณสูง (pneumatic compression or ballistic type; accelerated a projectile) ซึ่งเป็นการส่งพลังงานแบบไม่โฟกัสรวมพลังงาน (un-focused) แต่จะให้การส่งคลื่นพลังงานแบบสนามแรงดันแผ่ออกจากศูนย์กลาง (radial pressure wave) โดยพบว่าการสร้างคลื่นนี้ จะสร้างจากเครื่องที่ใช้แรงอัดอากาศผ่านท่อแคบๆ ทำให้เกิดพลังงานกดอัดในปริมาณสูงสุด อยู่ที่ยบริเวณใกล้จุดแหล่งกำเนิดและพลังงาน

คลื่นแรงดันจะค่อยๆ สูญเสียพลังงานมากขึ้น เมื่ออยู่ห่างไกลจากจุดแหล่งกำเนิดคลื่นมากขึ้น จึงทำให้ไม่สามารถส่งคลื่นไปในเนื้อเยื่อที่อยู่ชั้นลึกได้ ซึ่งต่างกับชนิด F-ESWT และการสร้างคลื่นชนิด RPT ที่ไม่จำเป็นต้องสร้างคลื่นผ่านน้ำ^(2, 12, 14)

จากการศึกษาพลังงานของคลื่น RPT พบว่าขาดคุณสมบัติของคลื่นช็อก คือ ไม่มีลักษณะของแรงดันบวกที่สูง และไม่มีแรงดันลบ รวมถึงพลังงานที่ให้นั้นไม่เป็นเส้นตรง จึงทำให้ไม่มีคุณสมบัติเป็นคลื่นช็อก จึงมีผู้เสนอว่าให้เรียกว่าการบำบัดด้วยการสั่นสะเทือนแผ่ออกจากศูนย์กลาง (radial pulse therapy; RPT) แทนการใช้คำว่า radial shock wave therapy (RSWT) ดังนั้น คลื่นช็อกชนิดโฟกัสรวมพลังงาน (F-ESWT) จึงมีความแตกต่างกับการบำบัดด้วยการสั่นสะเทือนแผ่ออกจากศูนย์กลาง (RPT) ทั้งคุณสมบัติคลื่นช็อกและการปล่อยพลังงานอย่างชัดเจน เช่น ขาดคุณสมบัติของ short rise time, high peak pressure และ non-linearity เป็นต้น⁽¹²⁾ (ตารางที่ 1 และ รูปที่ 3)

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของ focused-ESWT และ radial pulse therapy (RPT)

คุณสมบัติ	F-ESWT	RPT
แหล่งกำเนิดคลื่น	- สร้างจากประกายไฟฟ้า (spark electrohydraulic type) - สร้างจากเพียโซอิเล็กทริก (piezoelectric type) - สร้างจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic type)	ชนิดที่สร้างจากอัดแรงดันอากาศ pneumatic compression or ballistic type)
คุณลักษณะพื้นฐานของคลื่นช็อก เช่น Short rise time, high peak pressure และ Non-linearity	- มี short rise time, high peak pressure และ non-linearity - biphasic wave - positive, negative pressure	no shock wave characteristic
การส่งพลังงาน	รวมเป็นจุดเดียว (focus)	กระจายตัวออก (radial)
ระดับการส่งพลังงาน	ลงได้ลึก (deep structure)	ตื้น (superficial structure)
รูปแบบการเปลี่ยนพลังงาน	biphasic pressure wave	positive pressure wave
การใช้ US guideline	ใช้	ไม่ใช่
ความรู้สึกจากการกระตุ้น	เจ็บปวดมาก	ปวดเล็กน้อย
การใช้จ่ายเฉพาะที่	ใช้จ่ายก่อนรักษา	ไม่ใช้จ่าย
ราคา	สูงกว่า RPT	ถูกกว่า F-ESWT



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันกับเวลา (pressure-time relationship) ของคลื่นช็อก (shock wave) ทั้ง 2 ชนิด คือ คลื่นช็อกชนิดโฟกัสรวมพลังงาน (focused-ESWT, F-ESWT) และ คลื่นช็อกชนิดการบำบัดด้วยการสั่นสะเทือนแผ่ออกจากศูนย์กลาง (radial pulse therapy, RPT) ซึ่งพบว่ามีความแตกต่างของลักษณะแรงดันของคลื่น (pressure wave) ที่เกิดขึ้น โดยแบบ F-ESWT (shock wave) จะให้ลักษณะเป็น bi-phasic wave (high peak positive, low negative pressure) ในขณะที่ RPT (pressure pulse) มีลักษณะเป็น pressure pulse wave (low positive pressure) จึงทำให้พลังงานของทั้ง 2 แบบ นั้นมีความแตกต่างกันอย่างชัดเจน⁽¹²⁾

4. ค่าพลังงานของคลื่นช็อก

ค่าพลังงานของคลื่นช็อกชนิดโฟกัสรวมพลังงาน (F-ESWT) นั้นมีหลายค่า แต่ที่มีความสำคัญในการรักษานั้น มี 4 ค่าได้แก่

ตารางที่ 2 แสดงค่าระดับความหนาแน่นของพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ (total energy flux density TEFD, มีหน่วยเป็น mJ/mm^2)^(10,11,15) ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของเอ็นกล้ามเนื้อ (tendon) เมื่อใช้คลื่นช็อกชนิดโฟกัสรวมพลังงาน (F-ESWT)

Energy Level	Range of total energy flux density (หน่วยเป็น mJ/mm^2)	Effect of tendon
Low	< 0.08	ไม่มีการเปลี่ยนแปลง
Medium	0.08 – 0.28	มีลักษณะบวมเอน transient swelling ($0.28 \text{ mJ}/\text{mm}^2$)
High	> 0.6 ต้องใช้ยาชา (local anesthesia) (US image guideline to location)	-พบการอักเสบรอบเอ็น (para-tendinous inflammation) -พบหลอดเลือดเสียหาย (damage to vascular structure) -เอ็นมีลักษณะบวมขยายใหญ่ (increase in diameter of tendon) -พบเนื้อเยื่อตาย (tendon fibrinoid necrosis)

4.1 positive peak pressure (PPP; MPa) คือ สนามแรงดันของประจุบวก (+, positive pressure) ที่จุดรวม (focal volume) มีหน่วย Mega-Pascal (โดย $\text{MPa} = 1,000,000 \text{ Pa}$)^(10, 11)

4.2 positive energy flux density (PEFD; mJ/mm^2) คือ ความหนาแน่นของพลังงานต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ได้กราฟของบริเวณแรงดันบวก (+, positive pressure) ในช่วงเวลา มีหน่วย mJ/mm^2 ^(10, 11)

4.3 total energy flux density (TEFD; mJ/mm^2) คือ ความหนาแน่นของพลังงานทั้งหมดต่อหนึ่งหน่วยพื้นที่ที่ได้กราฟของคลื่นช็อก มีหน่วย mJ/mm^2 โดยค่านี้นิยมใช้ในการรายงานผลของการรักษาด้วยคลื่นช็อก ซึ่งจากผลงานวิจัยได้อ้างถึงการศึกษาของ Rompe และคณะ ในปี 1998^(10,11,15) ซึ่งได้แบ่งช่วงพลังงานของคลื่นช็อก ออกเป็น 3 ระดับ (**ตารางที่ 2**) และแต่ละบริษัทยังมีความแตกต่างกันของความสามารถในการสร้างค่าระดับพลังงานที่แตกต่างกัน (**ตารางที่ 3**) โดยพบว่า ระดับพลังงานที่มากกว่า $0.28 \text{ mJ}/\text{mm}^2$ จะมีผลเสียต่อกระดูก เช่น delayed fracture healing, damage osteocyte cell in bone นอกจากนี้ ระดับพลังงานประมาณ $0.4\text{-}0.6 \text{ mJ}/\text{mm}^2$ พบว่าจะทำให้เกิดการฉีกขาดของหลอดเลือดบริเวณรักษาได้ ดังนั้น ระดับพลังงานในการรักษาจึงควรเลือกใช้ปริมาณน้อยที่สุดเท่าที่มีประสิทธิภาพในการรักษาสูงสุด

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบลักษณะค่าพลังงานของคลื่นช็อก 3 บริษัท (F-ESWT devices)⁽¹¹⁾

Parameters	HMT Ossatron™	DORNIER Epos Ultra™	SIMENS SONOCUR Basic™
Positive peak pressure (MPa)	40.6 - 71.9	7.3 - 80.4	5.5 - 25.6
Focal area (mm.) at the highest energy level	6.6 x 6.8 x 20.0	7.7 x 7.7 x 20.0	6.0 x 6.0 x 58.0
Positive energy flux (mJ/mm ²)	0.09 - 0.34	0.03 - 0.98	0.016 - 0.22
Total energy flux density (mJ/mm ²)	0.12 - 0.40	0.13 - 1.70	0.04 - 0.56

4.4 number of pulses (pulses/treatment session) คือ จำนวนลูกคลื่นช็อกต่อการรักษา โดยพบว่ามีค่าแตกต่างกันในแต่ละงานวิจัย ซึ่งพบว่าส่วนใหญ่จะใช้รักษาอยู่ระหว่าง 500-2,000 ลูกคลื่น/1 ครั้งการรักษา (ตารางที่ 4) โดยอาจจะแบ่งปล่อยคลื่นออกเป็นชุดก็ได้ เช่น ชุดละ 500

ลูกคลื่น โดยปล่อยคลื่นรักษาจนครบตามจำนวน 3-5 รอบการรักษาเพื่อให้ได้จำนวนลูกคลื่นครบใน 1 ครั้งการรักษา นอกจากนี้พบว่าการรักษาส่วนใหญ่จะไม่ทำการรักษาติดต่อกัน โดยปกติอาจจะรักษา 1-3 ครั้ง/สัปดาห์ และจะรักษา 1-5 ครั้ง/โปรแกรม โดยนิยมใช้ 3-5 ครั้ง/โปรแกรมการรักษา⁽¹⁰⁾

ตารางที่ 4 แสดงค่าจำนวนครั้งต่อการรักษา (numbers of pulses/single treatment) ตามระดับพลังงานที่ใช้ในการรักษา (therapeutic energy level)^(10, 11)

Energy Level	Numbers of pulses/single treatment (F-ESWT)
Low	2,000-3,000
Medium	1,000-1,500
High	500-1,500

5. ข้อบ่งชี้ ข้อควรระวัง และข้อห้าม ในการใช้ F-ESWT

5.1 ข้อบ่งชี้ของการรักษาด้วย focused-ESWT (F-ESWT)⁽⁹⁻¹²⁾

จากการวิจัยที่ผ่านมาพบว่า focused-ESWT เหมาะสำหรับเนื้อเยื่อที่มีการอักเสบเรื้อรัง หรือ ปวดเรื้อรัง (chronic pathology or chronic pain, > 3-6 เดือน) และทำการรักษาด้วยวิธี conservative treatments ต่างๆมานานและไม่ได้ผลในการรักษา หรือรักษาด้วยยา (NSAID, steroid injection) และมีการซ่อมแซมบาดแผลที่ไม่ดี (poor healing of tissue) เช่น chronic tendinitis, chronic fasciitis, chronic calcification tendinitis, chronic epicondylitis เป็นต้น โดยมีการรายงานว่าไม่มีผลดีต่อการใช้ focused-SWT (F-ESWT) ในระยะที่ไม่ใช่ระยะเรื้อรัง

5.2 ข้อควรระวังของการรักษาด้วย focused-SWT (F-ESWT)^(6-8,12)

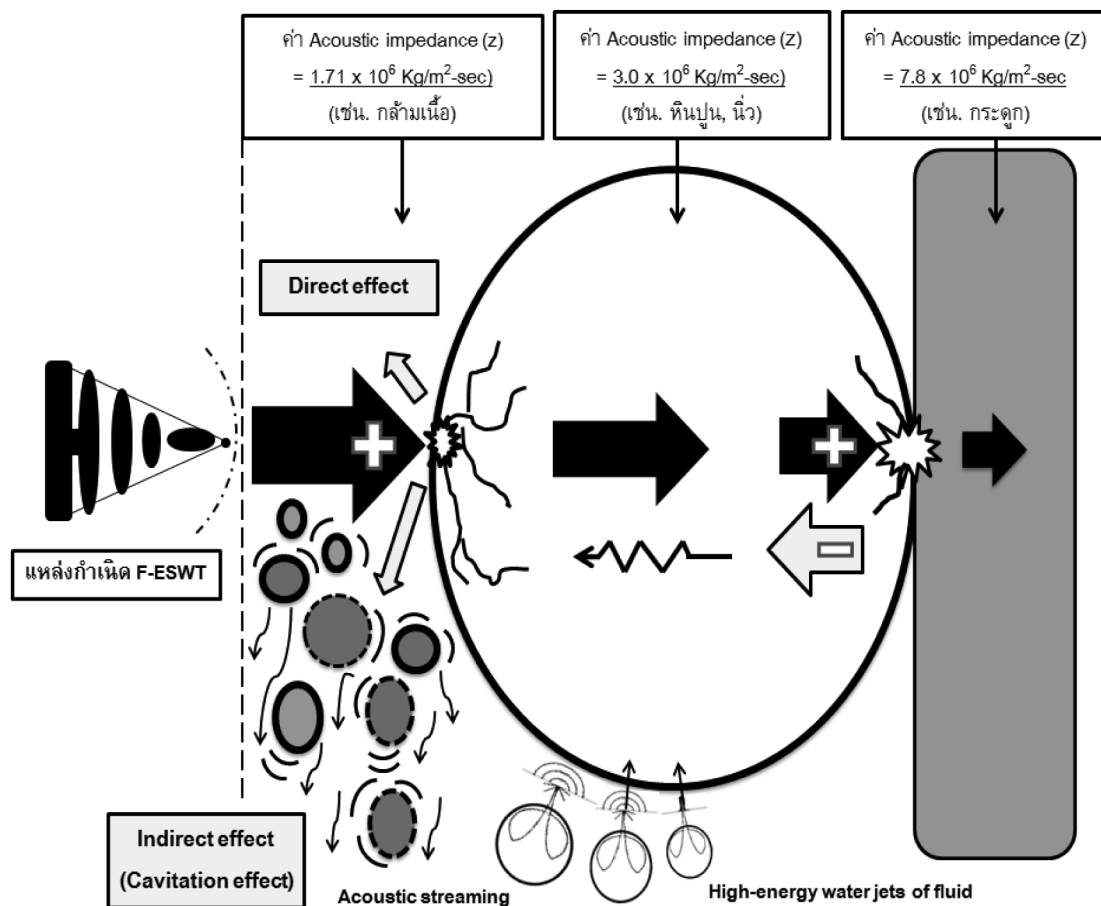
การศึกษาส่วนใหญ่แนะนำให้ใช้ focused-ESWT โดยพบว่าผลข้างเคียงที่พบได้บ่อยจากการใช้คลื่นช็อกชนิดนี้ ได้แก่ เจ็บปวดขณะรักษาและหลังรักษา จำเผลอหรือฟกช้ำ อาการชาน้อยๆ เนื่องจากการรบกวนการทำงานของเส้นประสาท hyperventilation, elevation of blood pressure (> 200 mmHg) เป็นต้น

5.3 ข้อห้ามของการรักษาด้วย focused-SWT (F-ESWT)⁽⁹⁻¹²⁾ ได้แก่ ผู้หญิงตั้งครรภ์ บริเวณที่เป็นโรคกระดูกหัก บริเวณทรวงอก บริเวณด้านหน้าช่องท้อง ผู้ที่ได้รับยาละลายลิ่มเลือด-ต้านการแข็งตัวของเลือด โรคที่มีความผิดปกติของการจับตัวเป็นก้อนลิ่มเลือด บริเวณบนตำแหน่งเส้นประสาทและหลอดเลือดและกลุ่มโรคที่มีการอักเสบทั่วร่างกาย

6. ผลทางชีววิทยาของการรักษาด้วย focused-ESWT (F-ESWT)^(2,10,11,16)

กลไกการรักษาด้วยคลื่น F-ESWT นั้นยังไม่ทราบ กลไกที่ชัดเจนที่เกิดขึ้น แต่เชื่อว่าเกิดจากแรงเค้น-แรงเฉือน (shear stresses) และ ดึงรั้ง (tensile stresses) โดยเมื่อคลื่น F-ESWT ถูกส่งผ่านเข้าเนื้อเยื่อร่างกายโดยแรงดึงรั้งของคลื่น F-ESWT นั้นมากกว่าแรงตึงผิวของน้ำภายในเนื้อเยื่อ ทำให้เกิดการสร้างฟองอากาศขึ้นอย่างรวดเร็วบริเวณเนื้อเยื่อ (รูปที่ 5) โดยฟองอากาศจะมีการหด-ขยายตัวตามพลังงานของคลื่นช็อก ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนของฟองอากาศ ส่งผลทำให้เกิดการไหลของของเหลวขนาดเล็กอย่างรวดเร็ว (acoustic streaming) ในสนามคลื่นช็อกเกิดขึ้น โดยพบว่า

ผลของฟองอากาศและการไหลของของเหลวบริเวณสนามคลื่นจะมากในเนื้อเยื่อที่มีน้ำเป็นองค์ประกอบมาก บริเวณรอยต่อของชั้นเนื้อเยื่อและระยะเวลาของการได้รับคลื่นช็อกที่นาน แต่อย่างไรก็ตามถ้าพลังงานคลื่นช็อกอยู่ในระดับที่สูงมากเกินไป จะทำให้มีการรวมตัวกันของฟองอากาศ เกิดการขยายตัวและเกิดการยุบตัวของฟองอากาศอย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นอันตรายหรือสามารถทำลายเซลล์และเนื้อเยื่อบริเวณนั้นได้ โดยมีรายงานการศึกษาว่า F-ESWT สามารถใช้ลดปวดชนิดเรื้อรัง เพิ่มการไหลเวียนเลือดเฉพาะที่ เพิ่มการสร้างหลอดเลือดใหม่เฉพาะที่ และการกระตุ้นซ่อมแซมเนื้อเยื่อได้ โดยผลทางชีววิทยา ของการรักษาด้วย F-ESWT แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด คือ ผลทางตรงและผลทางอ้อม



รูปที่ 5 แสดงกลไกการเกิดผลทางชีววิทยาของคลื่นช็อกชนิดโฟกัสรวมพลังงาน (biological mechanism of F-ESWT) เมื่อเคลื่อนผ่านตัวกลางที่มีค่าความต้านทาน (Z) แตกต่างกัน โดยสามารถแบ่งออกเป็นผลทางตรงจากแรงเฉือน (direct stress effect of shock wave by shear stresses) และผลทางอ้อม (indirect stress effect of shock wave หรือ cavitation effect) ในตัวอย่างภาวะที่มีหินปูน (calcification) หรือ นิ่ว (stone) โดยถ้าใช้พลังงานที่สูงมากอาจมีผลทำให้เกิดการแตกตัวของหินปูน หรือนิ่วได้

6.1 ผลทางตรง

ผลที่เกิดจากแรงกระแทกของคลื่นช็อกโดยตรง (positive pressure; +) เมื่อกระทบกับเนื้อเยื่อ-หินปูน ซึ่งมีผลทำให้เกิดแรงกระแทก-กดอัด (compression force) ทางด้านหน้าของหินปูน ซึ่งเมื่อคลื่นช็อกผ่านไปในตัวกลางที่มีค่า acoustic impedance (Z) แตกต่างกันอย่างมาก เช่น เนื้อเยื่อกับหินปูน จะมีผลทำให้มีพลังงานบางส่วนสูญเสียไปจากการสะท้อนของคลื่น (reflected wave) แรงเฉือน (shear stress) โดยจะมีพลังงานบางส่วนผ่านไป (transmission wave) ในส่วนของเนื้อเยื่อ หรือหินปูน และคลื่นช็อกจะไปกระทบกับตัวกลางที่มีค่า acoustic impedance (Z) แตกต่างกันอย่างอีกครึ่งหนึ่ง เช่น หินปูนกับกระดูก จะทำให้เกิดแรงกระแทก-กดอัด (compression force: positive pressure) ที่ผิวด้านหลังของหินปูน ส่งผลทำให้เกิดการแตกร้าวหินปูนและเกิดการสึกกร่อนได้ (fracture, erosion) โดยคลื่นนี้จะทำให้เกิดการสะท้อนอีกครั้งหนึ่ง และทำให้เกิดแรงดึงแยกของผิวหินปูนภายใน (tensile force: negative pressure) นอกจากนี้แรงดึงรั้ง (tensile stresses) ของคลื่น F-ESWT ที่เกิดขึ้นในเนื้อเยื่อมีค่าที่มากกว่าแรงดึงผิวของน้ำภายในเนื้อเยื่อ (tensile strength of water) จึงทำให้เกิดการสร้างฟองอากาศขึ้น (cavitation หรือ bubble) รอบเนื้อเยื่อนั้น และเกิดการสั่นสะเทือนของฟองอากาศ (oscillation of the bubble) เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (รูปที่ 5)

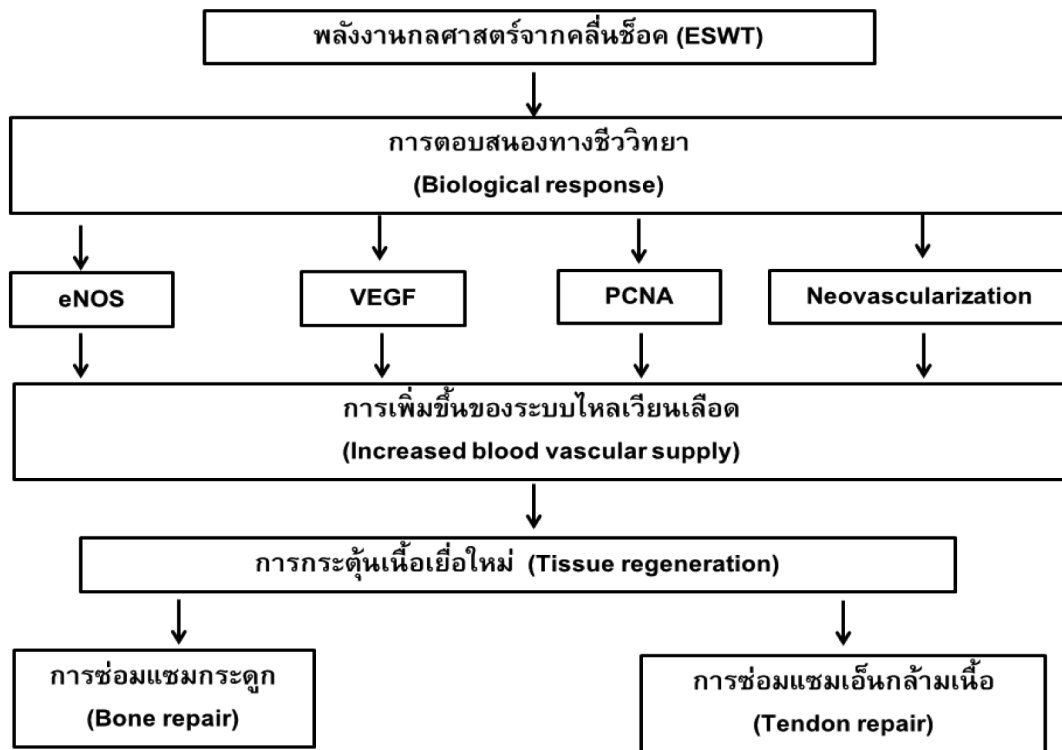
6.2 ผลทางอ้อม

ผลทางอ้อมเป็นผลที่เกิดจากการสั่นสะเทือนของฟองอากาศเนื่องจากแรงดึงรั้ง ซึ่งขนาดของฟองอากาศจะมีขนาดโตขึ้นเรื่อยๆตามปริมาณพลังงานของคลื่นช็อก โดยการสั่นสะเทือนที่เร็วและแรงของฟองอากาศในเนื้อเยื่อจะเกิดขึ้นอย่างรวดเร็วจน นอกจากนั้นการสั่นสะเทือนของฟองอากาศจะมีผลทำให้เกิดการสร้างกระแสไหลของของเหลวรอบๆบริเวณ

นั้นอย่างรวดเร็ว (acoustic streaming) ซึ่งจะมีผลต่อการเกิดแรงกระตุ้นทางกลศาสตร์ เช่น การเปลี่ยนแปลงการสื่อสารของเซลล์ ผ่านขบวนการถ่ายโอนเชิงกล (mechanotransduction) ของเซลล์และเนื้อเยื่อบริเวณใกล้เคียง โดยปริมาณการเปลี่ยนแปลงการไหลของของเหลวรอบๆบริเวณที่ได้รับคลื่นจะขึ้นอยู่กับความหนาแน่นขององค์ประกอบน้ำในเนื้อเยื่อ และระยะเวลาของการได้รับคลื่นช็อก ซึ่งจะส่งผลต่อการทำงานของเซลล์ต่างๆ ให้เกิดการกระตุ้นตอบสนองระดับเซลล์ เช่น การเพิ่มการยอมผ่านของเยื่อหุ้มเซลล์ การกระตุ้นการสร้างโปรตีน การกระตุ้นการสร้างหลอดเลือดใหม่ หรือกระตุ้นเซลล์ให้เกิดการซ่อมแซมเนื้อเยื่อ เป็นต้น แต่อย่างไรก็ตามถ้าระดับพลังงานของคลื่นช็อกมีปริมาณที่สูงมากเกินไปจะทำให้ฟองอากาศเกิดการรวมตัวและมีขนาดของฟองอากาศใหญ่ขึ้นจนเกิดการยุบตัวของฟองอากาศอย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดแรงดันรอบๆฟองอากาศเปลี่ยนแปลง เกิดการสร้างแรงดันน้ำพลังงานสูง (high-energy water jets) โดยเฉพาะบริเวณผิวของหินปูน ทำให้มีผลต่อการช่วยสลายหินปูนได้ (micro-disruption) นอกจากนี้การแตกตัวของฟองอากาศอย่างรวดเร็วจะทำให้มีการปล่อยพลังงานจากฟองอากาศ เกิดเป็นความร้อนสูงอย่างรวดเร็วตามมาได้ ซึ่งจะเป็นอันตรายต่อเซลล์และเนื้อเยื่อบริเวณนั้นแทนได้ ดังนั้นในการรักษาจะต้องคำนึงถึงระดับพลังงานที่เหมาะสมตรงกับพยาธิสภาพเสมอ

6.3 กลไกทางชีววิทยาที่มีผลต่อการรักษา^(2, 11, 12)

กลไกทางชีววิทยาที่มีผลต่อการรักษานั้นปัจจุบันยังไม่ทราบกลไกอย่างชัดเจน แต่การวิจัยส่วนใหญ่ นั้นจะใช้การศึกษาด้วยคลื่นช็อกชนิด F-ESWT โดยเฉพาะในโมเดลของเอ็นอักเสบ (tendinopathy model) โดยกลไกที่นิยมใช้ศึกษาผลของการรักษาด้วย F-ESWT ได้แก่ ความสามารถในการลดความเจ็บปวด การกระตุ้นเนื้อเยื่อที่บาดเจ็บ และการสลายหินปูน เป็นต้น (รูปที่ 6)



รูปที่ 6 กลไกที่อาจเกิดขึ้นต่อการซ่อมแซมเนื้อเยื่อจากการใช้ F-ESWT [ดัดแปลงจาก Wang CJ, 2003.⁽²⁾]

6.3.1 กลไกการลดความเจ็บปวด (pain relief): พบว่า F-ESWT สามารถลดความเจ็บปวดได้ โดยอาจจะผ่านกลไกชนิดการกระตุ้นระดับรู้สึกเจ็บ (noxious-level stimulation) ซึ่งเชื่อว่าจะสามารถควบคุมความเจ็บปวดได้จากการกระตุ้นให้ร่างกายหลั่งสารฝิ่น (opioid) แต่กลไกการลดปวดนี้ยังไม่ชัดเจน โดยบางการศึกษาเชื่อว่าเกิดจากการกระตุ้นด้วยตัวกระตุ้นที่รุนแรงบริเวณรักษาแล้วมีผลทำให้เกิดขบวนการควบคุมความเจ็บปวดได้ (pain control) ผ่านการลดการนำกระแสสัญญาณประสาทความเจ็บปวด (pain transmission of signals) เข้าสู่ไขสันหลังและก้านสมอง (brain-stem) นอกจากนี้ยังพบว่าอาจเกิดจากการรบกวนการนำสัญญาณความเจ็บปวด โดยมีผลต่อการลดระดับสารที่ก่อให้เกิดความเจ็บปวด เช่น ลดปริมาณของสารพี (substance P) หรือการเพิ่มปริมาณของสาร calcitonin gene-related peptide (CGRP) ในรากประสาทระดับไขสันหลัง (dorsal root ganglion)^(2,11,12) อย่างไรก็ตาม Haake และคณะในปี 2002⁽¹⁷⁾ พบว่าไม่มีการเปลี่ยนแปลงของสารเหล่านี้เมื่อกระตุ้นคลื่นช็อคด้วยระดับพลังงานต่ำ (low-energy level of ESWT)

6.3.2 กลไกการซ่อมแซมเนื้อเยื่อ (tissue regeneration): เชื่อว่า F-ESWT น่าจะเกี่ยวข้องกับผลของ

การสั่นสะเทือน หด-ขยายตัวของฟองอากาศ ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงการสื่อสารระหว่างเซลล์ผ่านกลไกการเปลี่ยนแปลงสัญญาณพลังงานกลศาสตร์ หรือการถ่ายโอนเชิงกล (mechanotransduction) ซึ่งเกิดจากการเปลี่ยนจากแรงกลศาสตร์ไปเป็นสัญญาณไฟฟ้าภายในเซลล์ ผ่านทางโครงสร้างของเซลล์ ซึ่งอาจมีผลต่อการเปลี่ยนแปลงการทำงานของเซลล์ เช่น การกระตุ้นสร้างโปรตีนภายในเซลล์เพิ่มขึ้น, การสร้างเส้นใยคอลลาเจนเพิ่มขึ้น รวมไปถึงสามารถลดปริมาณของสาร matrix metallo-proteases (MMPs) และ interleukins (ILs) ซึ่งมีความสำคัญในการช่วยซ่อมแซมเอ็นกล้ามเนื้อ รวมไปถึงการสร้างหลอดเลือด (vascularization) บริเวณรอยต่อกระดูกและเอ็นกล้ามเนื้อ และช่วยการส่งเสริมการซ่อมแซมเนื้อเยื่อได้ เช่น แผลบริเวณผิวหนังและบริเวณที่ขาดเลือด เป็นต้น^(2,11,12)

6.3.3 กลไกการสลายหินปูน (destruction of calcification): พบว่ายังขาดการวิจัยที่สนับสนุนผลของการทำให้หินปูนในเอ็นกล้ามเนื้อเกิดการแตกสลาย หลังการรักษาแบบเดียวกับการรักษานิวไนโด เนื่องจากยังขาดหลักฐานวิจัยที่สนับสนุนว่ามีผลทำให้หินปูนในเอ็นกล้ามเนื้อแตกสลายภายหลังการรักษาด้วย F-ESWT ทันที ในผู้ป่วยเอ็นข้อไหล่

อักเสบจากหินปูน แต่เชื่อว่า F-ESWT ช่วยในการส่งเสริมการซ่อมแซมของเอ็น และช่วยในขบวนการกระตุ้นกลไกการซ่อมแซม การจัดเรียงตัวเส้นใย (collagen remodeling) ใหม่ จึงทำให้หินปูนค่อยๆ ลดขนาดลงและสลายตัวไปในที่สุด^(2,11,12)

6.3.4 กลไกการสร้างหลอดเลือดใหม่ในบริเวณรอยต่อเอ็นและกล้ามเนื้อ (neo-vascularization in tendon-bone junction): พบว่า F-ESWT อาจกระตุ้นการสร้างหลอดเลือดใหม่โดยผ่านกลไกการกระตุ้นสร้างสารที่มีผลต่อการเจริญของหลอดเลือดและการแบ่งตัวของเซลล์ เช่น สาร endothelial nitric oxide synthase (eNOS), vessel endothelial growth factor (VEGF) และ proliferating cell antinuclear antigen (PCNA) เพิ่มจำนวนมากขึ้นหลังการรักษา ซึ่งมีผลต่อการกระตุ้นสร้างหลอดเลือดใหม่ และเพิ่มการซ่อมแซมเอ็นกล้ามเนื้อได้⁽¹²⁾

ดังนั้นจะเห็นได้ว่าผลของการใช้ F-ESWT ในการรักษาผู้ป่วยทางระบบโครงสร้างและกล้ามเนื้อนั้นจะเน้นผลทางอ้อมที่เกิดจากฟองอากาศ (indirect effect of shock wave) มากกว่าผลทางตรง (direct effect of shock wave) ที่เกิดจากการกดอัด-กระแทกเพื่อให้เกิดการแตกตัวของหินปูน เหมือนการใช้ F-ESWT ในการสลายนิ่วในไตเพราะการรักษาชนิดนี้จะทำให้เกิดการแตกของหินปูนจนเศษหินปูนหลุดออกมากับทางเดินปัสสาวะหลังการรักษา

7. ผลของคลื่นช็อกในระบบกระดูกและกล้ามเนื้อ โดยอ้างอิงหลักฐานเชิงประจักษ์

จากการทบทวนวรรณกรรม^(3,8,9,12) พบว่าผลทางชีววิทยาของการรักษาด้วยคลื่นช็อก (F-ESWT) ยังไม่ชัดเจน โดยมีผลการศึกษาทั้งที่ให้ผลมีประสิทธิภาพ ผลไม่ชัดเจน และไม่ได้ผล ทั้งนี้อาจมีความแตกต่างกันในระเบียบวิธีวิจัย เช่น เกณฑ์การวินิจฉัย ระยะของพยาธิสภาพ การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการรักษา ระยะเวลาในการติดตามผลการศึกษาดังนั้นการศึกษาผลของการรักษาด้วย F-ESWT จึงยังต้องการข้อมูลงานวิจัยที่มีคุณภาพในการยืนยันผลการรักษาโดยอ้างอิงหลักฐานเชิงประจักษ์ อย่างไรก็ตาม จากการทบทวนวรรณกรรมพบว่า อัตราการรักษาเอ็นข้อไหล่อักเสบแบบมีหินปูน (calcific shoulder tendinitis) นั้นประสบความสำเร็จประมาณร้อยละ 60 ถึง 85 และ เอ็นฝ่าเท้าอักเสบเรื้อรัง (chronic heel pain or chronic plantar fasciopathy) ประมาณร้อยละ 56 ถึง 75 รวมถึง จุดเกาะเอ็นที่ข้อศอกด้าน

นอกอักเสบเรื้อรัง (chronic lateral epicondylitis) ประมาณร้อยละ 47 ถึง 81 เมื่อใช้การรักษาด้วยคลื่นช็อกชนิดรวมคลื่น (F-ESWT) และพบว่าส่วนใหญ่จะใช้ค่าพลังงานความเข้มหนาแน่นระดับปานกลางถึงสูง จำนวน 3-5 ครั้งในการรักษา⁽¹⁰⁾

Speed ในปี 2013⁽⁸⁾ ได้รายงานแบบการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ การรักษาด้วยคลื่นช็อกในการรักษาภาวะผิวดกของเนื้อเยื่อและการบาดเจ็บของโครงสร้างกล้ามเนื้อและกระดูก โดยทำการสืบค้นข้อมูลการรักษาด้วยคลื่นช็อกทั้งแบบ F-ESWT และ RPT โดยผลการทบทวนวรรณกรรมพบว่าคลื่นช็อกทั้ง 2 ชนิดนี้มีความปลอดภัยในการรักษา โดยพบว่า F-ESWT ให้ผลการรักษาที่มีประสิทธิภาพในการรักษาเอ็นฝ่าเท้าอักเสบเรื้อรัง (chronic plantar fasciitis), เอ็นข้อไหล่อักเสบแบบมีหินปูน (chronic calcific tendinitis of shoulder) โดยผลการรักษาจะสัมพันธ์กับระดับความเข้มของระดับพลังงาน (dose dependent) ซึ่งจะให้ประสิทธิภาพการรักษาที่ดีในระดับพลังงานสูง (high dose energy) ในขณะที่ RPT จะให้ผลมีประสิทธิภาพเฉพาะในระดับพลังงานสูง (high dose energy) ในเอ็นฝ่าเท้าอักเสบเรื้อรังเท่านั้น นอกจากนี้จากหลักฐานพบว่ามีความความน่าเชื่อถือต่ำในประสิทธิภาพการรักษาในการใช้คลื่นช็อกที่ระดับความเข้มพลังงานต่ำ (low dose energy) ทั้งแบบ F-ESWT และ RPT ในการรักษาเอ็นข้อไหล่อักเสบแบบไม่มีหินปูน

7.1 ผลการใช้ F-ESWT ในเอ็นข้อไหล่อักเสบทั้งแบบมีหินปูนและไม่มีหินปูน

Harniman และคณะในปี 2004⁽¹⁸⁾ ทำการรายงานผลของการรักษาด้วย ESWT ในการลดอาการปวดข้อไหล่ โดยรายงานแบบการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ โดยผลการศึกษพบว่าคลื่นช็อกชนิดรวมคลื่น (F-ESWT) ที่ระดับค่าพลังงานความเข้มหนาแน่นสูงได้ผลดีในการรักษาเอ็นข้อไหล่อักเสบเรื้อรังชนิดมีหินปูน (chronic calcific rotator cuff tendinitis) ในขณะที่คลื่นช็อกชนิดรวมคลื่นที่ระดับความเข้มพลังงานต่ำ (low-energy) ไม่มีประสิทธิภาพเพียงพอในการรักษาเอ็นข้อไหล่อักเสบเรื้อรังชนิดไม่มีหินปูน (chronic non-calcific rotator cuff tendinitis) ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Speed ในปี 2013⁽⁸⁾ ที่ยังให้ข้อสรุปเช่นเดียวกัน ซึ่งสามารถสรุปได้ว่ากรณีรักษาเอ็นข้อไหล่อักเสบเรื้อรังชนิดมีหินปูน ที่รายงานว่ามีประสิทธิภาพในการรักษาจะ

มีการตั้งค่าต่างๆในการรักษา ดังนี้

- focused ESWT, energy density range (ค่าพลังงานความเข้มหนาแน่น 0.2-0.42 mJ/mm²)
- number of pulses (จำนวนลูกคลื่น 1,500-2,000 ลูกคลื่น)
- treatment session (จำนวนครั้งรักษา 1-8 รอบการรักษา)
- used anesthesia (ใช้ยาชาชนิดทา หรือฉีดร่วมด้วยในการรักษา)

และในกรณีรักษาเอ็นข้อไหล่อักเสบชนิดไม่มีหินปูน (chronic non-calcific rotator cuff tendonitis) การตั้งค่าการรักษาส่วนใหญ่คือ

- focused ESWT, energy density range (ความเข้มพลังงาน 0.08-0.15 mJ/mm²)
- number of pulses (จำนวนลูกคลื่น 1,500-2,000 ลูกคลื่น)
- treatment session (3 รอบการรักษา)
- not used anesthesia (ไม่ใช้ยาชาร่วมด้วยในการรักษา)

Cacchio และคณะในปี 2006⁽¹⁴⁾ พบว่าคลื่นช็อกชนิดสนามแรงดันแผ่ออกจากศูนย์กลาง (RPT) ที่ระดับความเข้มพลังงานต่ำโดยใช้ค่าพลังงานความเข้มหนาแน่น (energy flux density) เท่ากับ 0.1 mJ/mm², จำนวนลูกคลื่น 2,500 impulses/session, แบ่งการรักษาออกเป็น 4 sessions ทำการรักษา 4 สัปดาห์ โดยเว้นช่วงการรักษาทุก 1 สัปดาห์ ผลการศึกษาพบว่าคลื่นช็อกชนิดสนามแรงดันแผ่ออกจากศูนย์กลาง (RPT) มีส่วนช่วยในการลดปวดลดขนาดของหินปูน (ร้อยละ 13.4) และสามารถทำให้หินปูนหายไป (ร้อยละ 86.6) เมื่อเปรียบเทียบก่อน-หลังการรักษานาน 6 เดือนเมื่อดูผลการรักษาจากภาพถ่ายรังสีแต่พบว่าคลื่นช็อกชนิด RPT ไม่มีผลต่อคะแนนกิจกรรมการทำงานของข้อไหล่ อย่างไรก็ตามการศึกษาที่ไม่มียาชาควบคุม หรือกลุ่มการรักษาหลอก (placebo RPT) จึงทำให้ความน่าเชื่อถืองานวิจัยนี้ลดลง

Loppolo และคณะในปี 2013⁽¹⁹⁾ ทำการศึกษาผลของการรักษาด้วยคลื่น F-ESWT ในผู้ที่ปวดข้อไหล่จากหินปูนเกาะเอ็นข้อไหล่ โดยรายงานแบบการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบและการวิเคราะห์เมตาดาต้า (a systematic review and meta-analysis) จากงานวิจัย 28 เรื่อง และเหลือผ่านเกณฑ์ประเมินคุณภาพงานวิจัยจำนวน 6 เรื่อง

โดยทำการติดตามผลการรักษานาน 6 เดือน โดยการศึกษาส่วนใหญ่จะคัดเลือกอาสาสมัครที่มีหินปูนที่มีลักษณะผิวเรียบและหนาแน่น (ชนิด Type I, II: ตามการแบ่งชนิดหินปูนของ Gartner and Simons classification) และใช้คลื่นช็อกชนิดรวมคลื่น (F-ESWT) ที่ระดับค่าพลังงานความเข้มหนาแน่นสูง โดยผลการศึกษาพบว่าคลื่นช็อกชนิดรวมคลื่นที่ระดับความเข้มพลังงานสูงจะให้ผลดีในการรักษาเอ็นข้อไหล่อักเสบเรื้อรังชนิดมีหินปูน และพบว่าสามารถลดความเจ็บปวด เพิ่มคะแนนการทำการกิจกรรมของข้อไหล่ได้อย่างมีนัยสำคัญ หลังการติดตามผลการรักษานาน 6 เดือน นอกจากนี้ยังพบว่าการลดขนาดของหินปูนในข้อไหล่จะต้องใช้ระดับค่าพลังงานความเข้มหนาแน่นสูง ที่ระดับพลังงานระหว่าง 0.32 ถึง 0.44 mJ/mm² โดยร้อยละ 60 ของอาสาสมัครพบว่าหินปูนมีการหายไปอย่างสมบูรณ์จากเอ็นข้อไหล่ภายใน 6 เดือน และร้อยละ 86 ของอาสาสมัครมีการหายไปของหินปูนอย่างสมบูรณ์ภายใน 12 เดือน

ดังนั้นการใช้คลื่นช็อกชนิดรวมคลื่น (F-ESWT) ในการรักษาอาการปวดไหล่ ยังคงต้องการงานวิจัยที่มีคุณภาพในการสนับสนุนการรักษาด้วยวิธีดังกล่าว แม้ว่าจะมีรายงานว่าคลื่นช็อกชนิดรวมคลื่น (F-ESWT) ที่ระดับค่าพลังงานความเข้มหนาแน่นสูง ใช้ได้ผลดีในการรักษาเอ็นข้อไหล่อักเสบเรื้อรังชนิดมีหินปูน แต่การรักษาจะต้องได้รับยาชาร่วมด้วยขณะรักษา เนื่องจากคลื่นช็อกชนิดรวมคลื่น (F-ESWT) จะทำให้เกิดความเจ็บปวดขณะรักษาและจะเห็นผลในการรักษาภายหลังการรักษาไปแล้วนานมากกว่า 3 เดือน ดังนั้นการรักษาจึงเหมาะสมกับพยาธิสภาพที่เรื้อรังและไม่ตอบสนองต่อการรักษาด้วยวิธีมาตรฐาน รวมถึงลดความเสี่ยงในการผ่าตัด หรือใช้กรณีที่มีการผ่าตัดทำได้ยาก

7.2 ผลการใช้ F-ESWT รักษาอาการเอ็นกล้ามเนื้อลูกสะบ้าอักเสบเรื้อรัง

Wang ในปี 2012⁽¹⁾ ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยเกี่ยวกับการรักษาด้วยคลื่นช็อกชนิดรวมคลื่น (F-ESWT) พบว่ามีอัตราการประสบความสำเร็จในการรักษาอาการเอ็นกล้ามเนื้อลูกสะบ้าอักเสบเรื้อรัง (chronic patellar tendinopathy) ในช่วงร้อยละ 73.5-87.5 เมื่อทำการรักษาด้วย F-ESWT โดยการใช้ระดับพลังงานที่สูงเพียงพอ

van der Worp และคณะในปี 2013⁽¹²⁾ ทำการศึกษาผลของคลื่นช็อกชนิดรวมคลื่น (F-ESWT) ของอาการเอ็นกล้ามเนื้อลูกสะบ้าอักเสบเรื้อรัง โดยรายงานแบบการทบทวน

วรรณกรรมอย่างเป็นระบบ โดยผลการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบพบว่าการศึกษาส่วนใหญ่ใช้ F-ESWT และการศึกษาส่วนใหญ่ไม่มียุทธศาสตร์ควบคุม สรุปผลได้ว่าการรักษาส่วนใหญ่ให้ผลการรักษาที่มีประสิทธิภาพเฉพาะในระยะเรื้อรังเท่านั้น โดยต้องใช้ค่าพลังงานความเข้มหนาแน่น (energy flux density) ที่สูงมากกว่า 0.5 mJ/mm² ซึ่งผู้รักษาควรระมัดระวังอย่างมาก ในการรักษาผู้ป่วยเอ็นลูกสะบ้าอักเสบเรื้อรัง

7.3 ผลการใช้ F-ESWT รักษาเอ็นฝ่าเท้าอักเสบเรื้อรัง

Wang ในปี 2012⁽¹⁾ ได้ทำการทบทวนวรรณกรรมงานวิจัยเกี่ยวกับการรักษาด้วยคลื่นช็อกชนิดรวมคลื่น (F-ESWT) พบว่ามีการรายงานอัตราการประสบความสำเร็จในการรักษาของเอ็นฝ่าเท้าอักเสบเรื้อรัง (chronic proximal plantar fasciitis) ระหว่างร้อยละ 34-88 เมื่อทำการรักษาด้วย F-ESWT โดยการศึกษาส่วนใหญ่ให้ผลสนับสนุนในการรักษาด้วย F-ESWT ที่ระดับพลังงานสูง นอกจากนี้ยังพบว่าวิธีการรักษานี้ยังปลอดภัย และมีประสิทธิภาพดีในการรักษา แต่อย่างไรก็ตามยังไม่มีแนวทางการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่ใช้รักษาอย่างชัดเจน และยังคงต้องการงานวิจัยที่มีคุณภาพดีในการสนับสนุนผลการรักษาเอ็นฝ่าเท้าอักเสบเรื้อรังต่อไปเพราะยังมีจำนวนงานวิจัยที่มีคุณภาพยังไม่มากพอ

van der Worp และคณะในปี 2013⁽¹²⁾ ได้รายงานว่าจำนวนลูกคลื่นในการรักษา 500 ลูกคลื่นต่อครั้ง ทำการรักษา 3 ครั้ง แสดงผลดีมากกว่าการรักษาด้วยจำนวนลูกคลื่นในการรักษาที่ 100 ลูกคลื่นต่อครั้ง ทำการรักษา 3 ครั้ง ในการรักษาเอ็นฝ่าเท้าอักเสบเรื้อรัง (chronic plantar fasciitis) โดยงานวิจัยที่ได้ผลดีในการรักษาผู้ป่วยกลุ่มนี้จะมีค่าพลังงานความเข้มหนาแน่น (energy flux density) ระหว่าง 0.17 ถึง 0.2 mJ/mm² ปริมาณจำนวนลูกคลื่นในการรักษา 1,000-2,000 ลูกคลื่นต่อครั้ง โดยทำการรักษา 1 ครั้ง/สัปดาห์ และทำ 1-3 ครั้งในโปรแกรมการรักษา

Speed ในปี 2013⁽⁸⁾ ได้ทำการรายงานแบบการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ (systematic review) พบว่าการใช้คลื่นช็อกชนิดรวมคลื่นที่ค่าพลังงานความเข้มหนาแน่นต่ำ (low dose of F-ESWT) นั้นยังไม่มีหลักฐานที่ชัดเจนมากพอในประสิทธิภาพการรักษาเอ็นฝ่าเท้าอักเสบเรื้อรัง (chronic plantar fasciitis) และยังคงยืนยันหลักฐานที่น่าเชื่อถือเพียงพอในการรักษาที่ใช้ค่าพลังงานความเข้มหนาแน่นสูงเท่านั้น

7.4 ผลการใช้ F-ESWT รักษาจุดเกาะเอ็นที่ข้อศอกด้านนอกอักเสบเรื้อรัง

มีรายงานผลการรักษาด้วยคลื่นช็อกชนิดรวมคลื่น (F-ESWT) ที่ค่าพลังงานความเข้มหนาแน่นต่ำ (low dose) ในโรคจุดเกาะเอ็นที่ข้อศอกด้านนอกอักเสบเรื้อรัง (chronic lateral epicondylitis) ที่มีอาการมานานกว่า 6 เดือน โดยพบว่าประสบความสำเร็จในการรักษาระหว่างร้อยละ 47-81 อย่างไรก็ตามพบว่าการรักษาดังกล่าวสามารถลดความเจ็บปวดได้ดีกว่าการรักษาแบบอนุรักษ์ แต่การศึกษาส่วนใหญ่พบว่ามีจำนวนอาสาสมัครน้อย นอกจากนี้ยังขาดข้อมูลในการติดตามผลการรักษาในระยะยาว^(7,10, 11) จึงยังต้องการข้อมูลสนับสนุนที่ชัดเจนในการรักษาจุดเกาะเอ็นที่ข้อศอกด้านนอกอักเสบเรื้อรังต่อไป

Speed ในปี 2013⁽⁸⁾ ได้ทำการรายงานแบบการทบทวนวรรณกรรมอย่างเป็นระบบ พบว่ายังให้ผลในการรักษาที่ยังไม่แน่ชัด ในการรักษาด้วยคลื่นช็อกชนิดรวมคลื่น (F-ESWT) ที่ค่าพลังงานความเข้มหนาแน่นต่ำ โดยจากการทบทวนพบว่า มีงานวิจัย 2 เรื่องจาก 5 เรื่องที่ให้ผลการรักษาดีกว่ากลุ่มหลอก (placebo) เมื่อติดตามผลการรักษานาน 3 เดือน เมื่อตั้งค่าพารามิเตอร์ในการรักษาที่ระดับพลังงานระหว่าง 0.06 ถึง 0.09 mJ/mm², จำนวนลูกคลื่น 2,000 ลูก/ครั้ง/สัปดาห์ ทำ 3 ครั้ง สามารถลดความปวดในโรคจุดเกาะเอ็นที่ข้อศอกด้านนอกอักเสบเรื้อรังได้

7.5 ผลการใช้ F-ESWT รักษาผู้ป่วยทางระบบโครงสร้างกระดูกและกล้ามเนื้ออื่นๆ

Romeo และคณะในปี 2014⁽³⁾ ได้รายงานว่าปัจจุบันนี้เริ่มมีการนำคลื่นช็อกชนิดรวมคลื่น (F-ESWT) มาประยุกต์ใช้ในการรักษาผู้ป่วยในระบบโครงสร้างกระดูกและกล้ามเนื้ออื่นๆ (musculoskeletal disorders) เพราะเป็นเทคนิคที่ไม่ล่วงล้ำ (non-invasive technique) มีความปลอดภัยสูงและสามารถช่วยลดการผ่าตัดได้ โดยพบว่าคลื่นช็อกชนิดรวมคลื่น (F-ESWT) อาจจะเป็นเทคนิคการรักษาแบบใหม่ในผู้ป่วยภาวะเกร็ง โรคหลอดเลือดของกระดูก (vascular disease of bone) เช่น ภาวะกระดูกตายจากการขาดเลือด (avascular necrosis) รวมถึงภาวะความผิดปกติของฟัน (dental conditions) ได้

7.5.1 ภาวะเกร็ง (spasticity): กลไกการลดอาการเกร็งตัวของกล้ามเนื้อ (spastic muscles) จากการใช้ F-ESWT ยังไม่เป็นที่ทราบแน่ชัด แต่มีการศึกษาพบว่าการใช้คลื่นช็อกชนิดรวมคลื่น (F-ESWT) ที่ค่าพลังงานความเข้มหนาแน่นต่ำ (low energy) มีผลในการช่วยการดึงตัวของ

กล้ามเนื้อได้ โดยกลไกนี้ยังไม่ทราบ แต่พบว่าอาจเกี่ยวข้องกับการนำกระแสประสาทส่วนปลาย หรือการลดการกระตุ้นผ่านไขสันหลัง (spinal excitability)⁽³⁾ นอกจากนี้อาจเป็นไปได้ว่าการรักษาด้วยวิธีนี้อาจมีผลต่อการลดปริมาณ acetylcholine receptor ซึ่งมีผลต่อการลดลงของการเกิดศักย์ไฟฟ้าในกระแสประสาท (muscle action potential)⁽²⁰⁾ และยังมีรายงานว่ามีการนำ RPT มาใช้ในการลดอาการเกร็งกล้ามเนื้อได้เช่นกันในผู้ป่วยสมองพิการ (cerebral palsy, CP) ได้⁽²¹⁾

7.5.2 ผู้ป่วยโรคหลอดเลือดของกระดูก (vascular disease of bone): จากผลการกระตุ้นการสร้างหลอดเลือดใหม่ หลังการรักษาด้วย F-ESWT ทำให้ได้มีการนำเอาคลื่นช็อกมาประยุกต์ใช้กับภาวะกระดูกตายจากขาดเลือดของหัวกระดูกฟีมอร์ (femoral head osteonecrosis) เพื่อหวังผลในการกระตุ้นให้มีการสร้างหลอดเลือดและลดการตายของเนื้อกระดูก โดยเฉพาะในช่วงระยะแรกของการขาดเลือดของหัวกระดูก โดยกลไกนี้ยังไม่ชัดเจน แต่อาจจะเกี่ยวข้องกับการเพิ่มสาร osteocalcin, transforming growth factor (TGF) ซึ่งมีผลต่อการกระตุ้นเซลล์สร้างกระดูก (osteoblasts) และ เซลล์เยื่อหุ้มกระดูก (periosteal cells) จึงมีผลต่อการกระตุ้นการแบ่งตัวของเซลล์กระดูกใหม่ของเซลล์ต้นกำเนิด (mesenchymal stem cells) นอกจากนี้ยังมีการศึกษาถึงกลไกอื่นๆของกระดูก เช่น การกระตุ้นสาร osteoprotegerin (OPG) ซึ่งมีผลต่อการยับยั้งการทำงานของเซลล์สลายกระดูกได้ (osteoclasts) เป็นต้น^(3, 22)

7.5.3 ภาวะความผิดปกติของฟัน (dental conditions): จากการศึกษาของ Sathishkumar และคณะในปี 2008⁽²³⁾ พบว่า F-ESWT สามารถกระตุ้นการสร้างใหม่ของกระดูก alveolar bone ที่มีการติดเชื้อ *P. gingivalis* ของกระดูกหนู โดยใช้ระดับพลังงานความเข้มหนาแน่น 0.1 mJ/mm², ทำการรักษา 1,000 impulses/treatment ทำการติดตามผลนานถึง 12 สัปดาห์ โดยการเปรียบเทียบกับกลุ่มควบคุม

จากการทบทวนวรรณกรรมพอสรุปได้ว่า คลื่นช็อก (ESWT) เป็นคลื่นที่มีคุณสมบัติเฉพาะเจาะจง จากพื้นฐานของรูปคลื่นพบว่าสามารถแบ่งได้ 2 ชนิดหลัก คือคลื่นช็อกแบบรวมคลื่นโพสพลังงานเป็นจุดเดียว (F-ESWT) และแบบชนิดการสั่นสะเทือนแผ่ออกจากศูนย์กลาง (RPT) โดยทั้ง 2 ชนิดนี้มีความแตกต่างกันทั้งคุณลักษณะคลื่นที่สร้างออกมา และผลในการรักษา โดยงานวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้คลื่นชนิด F-ESWT ในการรักษาทางระบบโครงสร้างกระดูกและกล้ามเนื้อ

เนื้อมากกว่าชนิด RPT เพราะคลื่นชนิด F-ESWT สามารถส่งผ่านพลังงานได้ปริมาณมาก เฉพาะเจาะจง และทะลุเนื้อเยื่อชั้นลึกได้ จึงสามารถใช้รักษาภาวะความผิดปกติของระบบโครงสร้างและกล้ามเนื้อได้หลากหลาย โดยเฉพาะในภาวะเอ็นกล้ามเนื้ออักเสบเรื้อรังชนิดต่างๆ โดยจากการทบทวนวรรณกรรม^(3,8,10,11) พบว่า F-ESWT นิยมใช้ในภาวะเอ็นอักเสบที่เป็นมานานมากกว่า 6 เดือน และรักษาด้วยวิธีมาตรฐานแล้วไม่ได้ผล (เช่น การฉีดยาแก้อักเสบ-ลดปวด หรือการฉีดยากลุ่มสเตียรอยด์) นอกจากนี้การรักษาด้วย F-ESWT จำเป็นต้องใช้ยาชาร่วมด้วยขณะรักษา เนื่องจากจะมีความเจ็บปวดขณะรักษาได้ จึงต้องอยู่ภายใต้ผู้เชี่ยวชาญ และ การรักษาด้วย F-ESWT ควรมีการใช้การนำทางด้วยการสร้างภาพด้วยคลื่นเสียงความถี่สูง (ultrasound imaging guideline) ในการหาตำแหน่งการรักษาที่แน่นอน เช่นเอ็นกล้ามเนื้อต่างๆ เพื่อให้การรักษาตรงตำแหน่ง จากหลักฐานเชิงประจักษ์พบว่าถ้ารักษาด้วยคลื่นช็อกในครั้งแรกแล้วพบว่าสามารถลดอาการปวดได้ เป็นสัญญาณที่ดีในการรักษาด้วยคลื่นช็อกในครั้งต่อไป โดยผลการรักษาด้วยคลื่นช็อกนั้นจะเกิดขึ้นจากผลทางตรงจากคลื่นช็อก และผลทางอ้อมจากการสั่นและขยายตัวของฟองอากาศภายในเนื้อเยื่ออย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดผลในการลดปวด กระตุ้นการซ่อมแซมเนื้อเยื่อ และ กระตุ้นการสร้างหลอดเลือดใหม่ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม, การรักษาด้วยคลื่นช็อกนี้ยังคงต้องการงานวิจัยที่มีคุณภาพดีและมีจำนวนตัวอย่างที่มากเพียงพอในการแสดงผลเชิงประจักษ์ที่ชัดเจน นอกจากนี้ปัจจุบันยังไม่สามารถอธิบายกลไกการรักษาที่ชัดเจนได้โดยเฉพาะกลไกทางด้านชีวโมเลกุล และผลทางด้านพยาธิสรีรวิทยาที่ชัดเจน โดยเฉพาะกลไกที่สามารถช่วยกระตุ้นการซ่อมแซมของเนื้อเยื่อที่มีอาการอักเสบเรื้อรัง (chronic inflammation) แม้ว่าจะมีงานวิจัยบางงานวิจัยที่ทำศึกษา^(2, 22) และยังไม่ทราบแน่ชัดถึงกลไกการลดความเจ็บปวดของ F-ESWT ซึ่งยังเป็นที่น่าสนใจในปัจจุบันเนื่องจากเป็นกลไกลดความเจ็บปวดในภาวะเรื้อรัง ซึ่งเกี่ยวข้องกับระบบการส่งสัญญาณความเจ็บปวดไปยังระบบประสาทส่วนกลาง^(24, 25) และปัจจุบันยังไม่มีแนวทางเวชปฏิบัติในการรักษาด้วยคลื่นช็อกที่ชัดเจน และยังคงต้องการงานวิจัยที่มีคุณภาพในการสนับสนุนผลการรักษาต่อไป เพื่อใช้เป็นแนวทางการรักษาโรคความผิดปกติระบบโครงสร้างทางกระดูกและกล้ามเนื้อในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

1. Wang CJ. Extracorporeal shockwave therapy in musculoskeletal disorders. *J Orthop Surg Res* 2012; 7: 11-8.
2. Wang CJ. An overview of shock wave therapy in musculoskeletal disorders. *Chang Gung Med J* 2003; 26: 220-32.
3. Romeo P, Lavanga V, Pagani D, Sansone V. Extracorporeal shock wave therapy in musculoskeletal disorders: a review. *Med Princ Pract* 2014; 23: 7-13.
4. Sauerbruch T, Holl J, Sackmann M, Paumgartner G. Extracorporeal shock wave lithotripsy of pancreatic stones. *Gut* 1989; 30: 1406-11.
5. Strash WW, Perez RR. Extracorporeal shockwave therapy for chronic proximal plantar fasciitis. *Clin Podiatr Med Surg* 2002; 19: 467-76.
6. Wilner JM, Strash WW. Extracorporeal shock-wave therapy for plantar fasciitis and other musculoskeletal conditions utilizing the Ossatron: an update. *Clin Podiatr Med Surg* 2004; 21: 441-7.
7. Stasinopoulos D, Johnson MI. Effectiveness of extracorporeal shock wave therapy for tennis elbow (lateral epicondylitis). *Br J Sports Med* 2005; 39: 132-6.
8. Speed C. A systematic review of shockwave therapies in soft tissue conditions: focusing on the evidence. *Br J Sports Med* 2014; 48: 1538-42.
9. Huisstede BM, Gebremariam L, van der Sande R, Hay EM, Koes BW. Evidence for effectiveness of Extracorporeal Shock-Wave Therapy (ESWT) to treat calcific and non-calcific rotator cuff tendinosis--a systematic review. *Man Ther* 2011; 16: 419-33.
10. Chung B, Wiley JP. Extracorporeal shockwave therapy: a review. *Sports Med* 2002; 32: 851-65.
11. Thigpen C. Extracorporeal Shockwave Therapy. In: Prentice WE. *Therapeutic modalities in rehabilitation*. 4th ed. New York: McGraw-Hill Companies; 2011. pp 417-30.
12. van der Worp H, van den Akker-Scheek I, van Schie H, Zwerver J. ESWT for tendinopathy: technology and clinical implications. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* 2013; 21: 1451-8.
13. Ogden JA, Toth-Kischkat A, Schultheiss R. Principles of shock wave therapy. *Clin Orthop Relat Res* 2001; 387: 8-17.
14. Cacchio A, Paoloni M, Barile A, Don R, de Paulis F, Calvisi V, et al. Effectiveness of radial shock-wave therapy for calcific tendinitis of the shoulder: single-blind, randomized clinical study. *Phys Ther* 2006; 86: 672-82.
15. Rompe JD, Kirkpatrick CJ, Kullmer K, Schwitalle M, Krschek O. Dose-related effects of shock waves on rabbit tendo Achillis. A sonographic and histological study. *J Bone Joint Surg Br* 1998; 80: 546-52.
16. Shrivastava SK. Shock wave treatment in medicine. *J Biosci* 2005; 30: 269-75.
17. Haake M, Thon A, Bette M. Unchanged c-Fos expression after extracorporeal shock wave therapy: an experimental investigation in rats. *Arch Orthop Trauma Surg* 2002; 122: 518-21.
18. Harniman E, Carette S, Kennedy C, Beaton D. Extracorporeal shock wave therapy for calcific and noncalcific tendonitis of the rotator cuff: a systematic review. *J Hand Ther* 2004; 17: 132-51.
19. Ioppolo F, Tattoli M, Di Sante L, Venditto T, Tognolo L, Delicata M, et al. Clinical improvement and resorption of calcifications in calcific tendinitis of the shoulder after shock wave therapy at 6 months' follow-up: a systematic review and meta-analysis. *Arch Phys Med Rehabil* 2013; 94: 1699-706.
20. Amelio E, Manganotti P. Effect of shock wave stimulation on hypertonic plantar flexor muscles

- in patients with cerebral palsy: a placebo-controlled study. *J Rehabil Med* 2010; 42: 339-43.
21. Kenmoku T, Ochiai N, Ohtori S, Saisu T, Sasho T, Nakagawa K, et al. Degeneration and recovery of the neuromuscular junction after application of extracorporeal shock wave therapy. *J Orthop Res* 2012; 30: 1660-5.
22. Wang CJ, Wang FS, Yang KD. Biological effects of extracorporeal shockwave in bone healing: a study in rabbits. *Arch Orthop Trauma Surg* 2008; 128: 879-84.
23. Sathishkumar S, Meka A, Dawson D, House N, Schaden W, Novak MJ, et al. Extracorporeal shock wave therapy induces alveolar bone regeneration. *J Dent Res* 2008; 87: 687-91.
24. Wess OJ. Chronic pain and pain relief by extracorporeal shock wave therapy. *Urol Res* 2011; 39: 515-9.
25. Wess OJ. A neural model for chronic pain and pain relief by extracorporeal shock wave treatment. *Urol Res* 2008; 36: 327-34.