บทความทั่วไป

คลื่นช็อคและ Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy

วัลลภ พรเรืองวงศ์*

การสลายนิ่วด้วยคลื่นช็อคภายนอกร่างกาย (extracorporeal shock wave lithotripsy, ESWL) ทำให้แนวคิดในการรักษานิ่วทางเดินปัสสาวะ และนิ่วทางเดินน้ำดีเปลี่ยนไปมาก ในอนาคต ESWL น่าจะมีบทบาทมากขึ้นในการรักษานิ่วต่อมน้ำลาย และรอยโรคอื่นๆ ที่มีหินปูนจับ (calcified lesions)[1-4]

ESWL เป็นอุปกรณ์นำเข้า ราคาเครื่องละ 8-37.5 ล้านบาท ค่าสลายนิ่ว 9,800-30,000 บาท ต่อครั้งหรือต่อข้าง (นิ่วในไตซ้ายหรือขวา) ราคาค่าสลายนิ่วเฉลี่ย 15,000-17,000 บาท การจะใช้ "ของดีแต่แพง" ให้คุ้มคงต้องใช้ความรู้ที่มีพื้นฐานมาจากความเข้าใจ

คนไข้และญาติมีแนวโน้มจะอยากรู้ และซักถามเกี่ยวกับแนวทางการรักษาเพิ่มขึ้น[5] ความรู้พื้นฐานน่าจะช่วยให้บุคลากรสาธารณสุขสื่อสารกับคนไข้และญาติให้ดีขึ้นได้

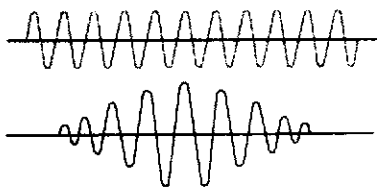
บทความนี้แบ่งเป็น 2 ตอน ตอนที่หนึ่งกล่าวถึงพื้นฐานคลื่นช็อค ตอนที่สองกล่าวถึง ESWL

1. พื้นฐานคลื่นช็อค

บทความตอนที่หนึ่งแบ่งเป็น 3 ส่วนได้แก่ ความแตกต่างระหว่างคลื่นช็อคและคลื่นเสียง กลไกการสลายนิ่ว และผลของคลื่นช็อคต่อร่างกายและนิ่ว

1.1 ความแตกต่างระหว่างคลื่นช็อคและคลื่นเสียง

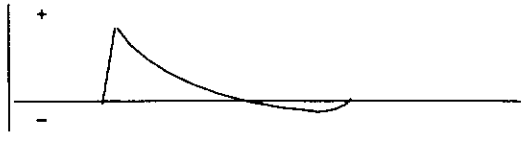
คลื่นเสียงเป็นคลื่นแรงดัน คลื่นเสียงประกอบด้วยคลื่นแรงดันทางบวก สลับกับแรงดันทางลบ เกิดขึ้นครั้งละหลายลูกคลื่น เปรียบคล้ายคลื่นที่เกิดจากก้อนหินตกน้ำ ซึ่งกระเพื่อมขึ้นลงสลับกัน หากนำมาเขียนกราฟจะได้รูปคล้ายตัวเอส (sigmoid) ดังภาพ (รูปที่ 1)



รูปที่ 1 แสดงลักษณะคลื่นเสียง

คลื่นช็อคเป็นคลื่นแรงดันทางบวก เกือบทั้งหมด คลื่นช็อคเกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว (ประมาณ 10 microsecond หรือ 1 ในแสนวินาที) และเกิดครั้งละ 1 คลื่น[1,6]

ถ้านำคลื่นช็อคมาเขียนกราฟจะได้รูปคล้ายเขื่อนกั้นแม่น้ำ ประกอบด้วยส่วนนำที่มีความชันสูง (steep onset) คลื่นส่วนตามจะค่อยลดระดับลงช้าๆ และมีส่วนหลังสุดเป็นคลื่นแรงดันทางลบขนาดเล็กดังภาพ (รูปที่ 2)



รูปที่ 2 แสดงลักษณะคลื่นช็อค

*กลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลลำปาง

ตัวอย่างคลื่นช็อคที่พบบ่อยได้แก่ ปรากฏการณ์ฟ้าแลบ-ฟ้าร้อง (thunder & lightning) ฟ้าแลบเป็นประกายไฟฟ้า (spark) การกระโดดของอีเล็คตรอนจำนวนมากทำให้เกิดพลาสมา (plasma)[7-9] พลาสมาเป็นกลุ่มแก๊สที่ร้อนจัดซึ่งขยายตัวอย่างรวดเร็วคล้ายการระเบิด ทำให้เกิดคลื่นช็อค (ฟ้าร้อง)

ถ้าฟ้าร้องเกิดขึ้นใกล้ๆ คลื่นช็อคอาจทำให้ของแข็ง เช่น กระจก ฯลฯ สั่นสะเทือนได้ เมื่อคลื่นช็อคเดินทางไปไกลๆ จะสูญเสียพลังงานให้อากาศ และค่อยๆ แปรรูปเป็นคลื่นเสียงทั่วๆ ไปในที่สุด

คลื่นช็อคมีความเร็วเหนือเสียง ความเร็วคลื่นช็อคในน้ำเท่ากับ 1,700 เมตร/วินาที ความเร็วเสียงในน้ำเท่ากับ 1,480 เมตร/วินาที[9-11] คลื่นช็อคมีความสามารถในการทะลุผ่านตัวกลางชนิดต่างๆ มากกว่าเสียง ส่วนคุณสมบัติในการสะท้อนกลับ คล้ายเสียง

ความเร็วเสียง ในตัวกลาง (media) ขึ้นอยู่กับสถานะ (phases) และความหนาแน่น ความเร็วเสียงในของแข็งมากกว่าในของเหลว ความเร็วเสียงในของเหลวมากกว่าในแก๊ส ความเร็วเสียงในตัวกลางที่หนัก (ความหนาแน่นสูง) มากกว่าในตัวกลางที่เบา (ความหนาแน่นต่ำ)

ถ้าเสียงเดินทางในตัวกลางที่มีความเป็นเนื้อเดียว (homogeneous) เช่น น้ำกลั่น ฯลฯ จะไม่สะท้อนกลับเลย ถ้าเสียงเดินทางจากตัวกลางชนิดหนึ่งไปยังตัวกลางอีกชนิดหนึ่ง เช่น จากน้ำไปยังน้ำมัน ฯลฯ จะเกิดการสะท้อนกลับบางส่วนบริเวณรอยต่อหรือหน้าสัมผัส

ค่าที่ใช้ในการคำนวณอัตราส่วนสะท้อนกลับของเสียงเมื่อเดินทางผ่านรอยต่อหรือหน้าสัมผัสระหว่างตัวกลาง 2 ชนิดได้แก่ ค่าแรงต้านทานเสียง (acoustic impedance) ค่าแรงต้านทานเสียงมีค่าเท่ากับผลคูณระหว่างความหนาแน่นและความเร็วเสียงในตัวกลาง[10] ตัวอย่างค่าแรงต้านทานเสียงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 : แสดงค่าแรงต้านทานเสียง (หน่วย Rahls หรือ kg/m^2-sec)

ตัวกลาง	ค่าแรงต้านทานเสียง
อากาศ	0.0004×10^6
น้ำมัน	1.34×10^6
น้ำ	1.48×10^6
ไต	1.63×10^6
ตับ, เลือด	1.65×10^6
กล้ามเนื้อ	1.71×10^6
กระดูก (adult skull)	7.8×10^6

ถึงตรงนี้ขอให้จับหลักว่า ค่าแรงต้านทานเสียงในของแข็งมากกว่าของเหลวและแก๊สตามลำดับ ของหนักจะมีค่านี้มากกว่าของเบา นิ่วถุงน้ำดีมีค่าแรงต้านทานเสียงใกล้เคียงกับของเหลว ส่วนนิ่วทางเดินปัสสาวะมีค่านี้ใกล้เคียงของแข็ง ดังตารางที่ 2[12]

ตารางที่ 2 : ค่าแรงต้านทานเสียงของนิ่ว (หน่วย Rahls หรือ kg/m^2-sec)

ตัวกลาง	ค่าแรงต้านทานเสียง
นิ่วถุงน้ำดี	$1.5-2.5 \times 10^6$
นิ่วทางเดินปัสสาวะ	$3.0-6.5 \times 10^6$

เนื้อเยื่อคนเราส่วนใหญ่เป็นเนื้อเยื่ออ่อน (soft tissues) เนื้อเยื่ออ่อนประกอบด้วยน้ำเป็นส่วนใหญ่ ทำให้ร่างกายมีสถานะโดยรวมเป็นของเหลว

เนื้อเยื่อหรือรอยโรคบางชนิดมีสภาพคล้ายของแข็ง เช่น กระดูก นิ่วทางเดินปัสสาวะ รอยโรคที่มีหินปูนจับ ฯลฯ อวัยวะหรือรอยโรคบางชนิดมีแก๊สภายใน เช่น ปอด ทางเดินอาหาร ฯลฯ

อัตราส่วนสะท้อนกลับ (reflection ratio, R) เมื่อเสียงหรือคลื่นช็อคเดินทางผ่านหน้าสัมผัสระหว่างตัวกลาง 2 ชนิดมีค่าเท่ากับผลต่างหาร

ด้วยผลรวมของค่าแรงต้านทานเสียง (acoustic impedance, Z) ของตัวกลาง (Z_1,Z_2) ดังสมการ $R = Z_2-Z_1 / Z_2 + Z_1$.

ถ้าเสียงเดินทางข้ามหน้าสัมผัสระหว่างตัวกลางที่มีสถานะเดียวกันจะสะท้อนน้อย เช่น จากไตไปตับ (ของเหลว-ของเหลว) สะท้อน 0.2% ฯลฯ ถ้าเสียงเดินทางข้ามหน้าสัมผัสระหว่างตัวกลางที่มีสถานะต่างกันจะสะท้อนมาก เช่น จากกล้ามเนื้อไปกระดูก (ของเหลว-ของแข็ง) สะท้อน 64.2% จากกล้ามเนื้อไปปอด (ของเหลว-แก๊ส) สะท้อนเกือบ 100% ฯลฯ

การสะท้อนกลับจะทำให้เกิดแรงกดดัน ต่อบริเวณหน้าสัมผัส ถ้าจะเปรียบคงคล้ายลูกบอลล์ที่ลอยไปกระทบของแข็ง เช่น ฝาผนัง ฯลฯ จะทำให้เกิดแรงกดดันต่อฝาผนัง ถ้าแรงนี้มากพอและฝาผนังค่อนข้างเปราะ เช่น ฝาผนังกระจก ฯลฯ อาจทำให้เกิดการร้าวหรือแตกได้

1.2 กลไกการสลายนิ่ว

ร่างกายคนเรามีสถานะโดยรวมเป็นของเหลว การสร้างคลื่นช็อคจึงนิยมทำในน้ำ (ของเหลว) คลื่นช็อคที่เกิดขึ้นเดินทางผ่านเนื้อเยื่อส่วนใหญ่ได้ดี เนื่องจากน้ำและเนื้อเยื่อมีสถานะเป็นของเหลว และมีค่าแรงต้านทานเสียงใกล้เคียงกัน

นิ่วทางเดินปัสสาวะมีสถานะโดยรวมเป็นของแข็ง คลื่นช็อคส่วนใหญ่จึงสะท้อนกลับ ทำให้เกิดแรงดันและแรงดึงต่อนิ่ว

ถ้าเปรียบคลื่นช็อคเป็นลมพายุ เนื้อเยื่อส่วนใหญ่จะลู่ลมคล้ายต้นหญ้า ส่วนนิ่วจะต้านลมคล้ายต้นไม้ใหญ่ โอกาสที่กิ่งก้านของต้นไม้ใหญ่จะหักหรือลำต้นล้มย่อมจะมากกว่าต้นหญ้า

ถ้าเปรียบเป็นสำนวนคงคล้าย "น้ำเชี่ยวอย่าขวาง" เนื้อเยื่อส่วนใหญ่ยอมให้คลื่นช็อคผ่านไปโดยไม่ขวาง ส่วนนิ่วจะขวางโดยสะท้อนคลื่นช็อคส่วนใหญ่กลับ โอกาสได้รับผลจากคลื่นช็อคจึงมากกว่าเนื้อเยื่อ

นอกจากนี้การรวมคลื่น (focus) ก็มีผลทำให้บริเวณเป้าหมาย หรือนิ่วได้รับคลื่นช็อคที่มีความเข้มสูงกว่าเนื้อเยื่อโดยรอบ[11]

นิ่วมีความเปราะ (fragility) ขณะที่เนื้อเยื่อมีความยืดหยุ่น (flexibility) โอกาสที่นิ่วได้รับผลจากคลื่นช็อคจึงมากกว่าเนื้อเยื่อ

อวัยวะที่เสี่ยงต่ออันตรายจากคลื่นช็อคมาก ได้แก่ อวัยวะที่มีแก๊สหรือของแข็งอยู่ภายใน เช่น ปอด ทางเดินอาหาร เส้นเลือดที่มีหินปูนจับ (calcified vessels) ฯลฯ

การสลายนิ่วด้วยคลื่นช็อคจึงควรหลีกเลี่ยงไม่ให้ลำคลื่นช็อค (shock wave beam) ผ่านอวัยวะเหล่านี้โดยตรง บางครั้งอาจต้องทำกำบัง (shield)[13] เช่น การสลายนิ่วในเด็กอาจต้องใช้แผ่นโฟม (styrofoam) ซึ่งภายในมีฟองอากาศบังปอด ฯลฯ

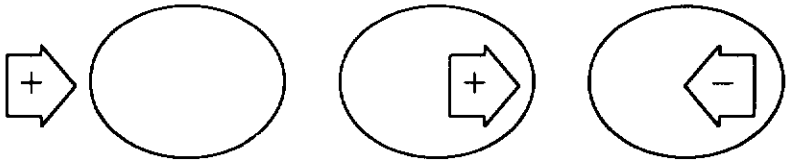
กลไกสำคัญที่ทำให้นิ่วทางเดินปัสสาวะผุกร่อน (erosion) ร้าว (fracture) หรือแตก (fragmentation) เกิดจากการสะท้อน 2 ครั้งใหญ่ๆ ได้แก่ ครั้งแรกทางด้านหน้า (front) และครั้งที่สองทางด้านหลัง (rear) ของเม็ดนิ่ว

การสะท้อนทางด้านหน้า (น้ำ-ของแข็ง) จะทำให้เกิดแรงกด หรือแรงทางบวก (+) คลื่นช็อคส่วนหนึ่ง (ส่วนที่ไม่สะท้อน) จะเดินทางต่อไปในเม็ดนิ่ว ทำให้เกิดแรงกด หรือแรงทางบวก (+) ทางด้านหลัง และสะท้อนทางด้านหลัง (ของแข็ง-น้ำ) ทำให้เกิดแรงดึง หรือแรงทางลบ (-)

การสะท้อนทางด้านหลังเป็นการสะท้อนของหน้าสัมผัส ที่มีความต้านทานเสียงของตัวกลางด้านใกล้ (proximal) สูงกว่าตัวกลางด้านไกล (distal) การสะท้อนแบบนี้จะทำให้เกิดการพลิกกลับหัวกลับหาง ของคลื่นช็อค จากคลื่นทางบวกเป็นคลื่นทางลบ

ถ้าเปรียบรูปคลื่นช็อคทางบวก (+) คล้ายเขื่อน รูปคลื่นสะท้อนทางลบ (-) จะคล้ายเหวลึก แรงทางลบนี้จะทำให้เกิดแรงดึง[5,11,13]

แรงกระทำต่อก้อนนิ่วจึงประกอบด้วยแรง 3 แรงได้แก่ แรงดัน (กระแทก) ทางด้านหน้า แรงดัน (กระแทก) ทางด้านหลัง และแรงดึง (จากการสะท้อน) ทางด้านหลังดังภาพ (รูปที่ 3)



รูปที่ 3 แสดงแรงที่กระทำต่อนิ่ว

ระยะที่หนึ่งแรงดัน (กระแทก) ทำให้เกิดแรงดันทางด้านหน้า แรงส่วนหนึ่งจะสะท้อนกลับ แรงที่เหลือจะเดินทางต่อไปในก้อนนิ่ว และสะท้อนกลับทางด้านหลัง

ระยะที่สองแรงดึงทางด้านหลังจากการสะท้อนเป็นแรงทางลบหรือมีความดันต่ำกว่าน้ำรอบๆ นิ่ว ทำให้เกิดฟองอากาศ ฟองอากาศนี้จะขยายตัวอย่างรวดเร็ว (ภายใน 5 ในหมื่นวินาที หรือ 500 microsecond) และกระแทกนิ่วให้ร้าวหรือแตกได้[9,11]

กลไกในการเกิดฟองอากาศจะคล้ายกับการเขย่าน้ำอัดลมแรงๆ แล้วรีบเปิดฝาขวด จะทำให้เกิดฟองอากาศล้นออกมานอกขวด

นิ่วทางด้านหน้าได้รับแรงกระแทกหรือแรงดันครั้งเดียว นิ่วทางด้านหลังได้รับแรงทางบวก (ดัน) สลับกับทางลบ (ดึง) ถึง 3 ครั้ง ได้แก่ ครั้งแรกแรงดัน (แรงทางบวก,+) จากคลื่นช็อค ครั้งที่สองแรงดึง (แรงทางลบ,−) จากการสะท้อนของคลื่นช็อค และครั้งที่สามแรงดัน (แรงทางบวก,+) จากการขยายตัวของฟองอากาศ

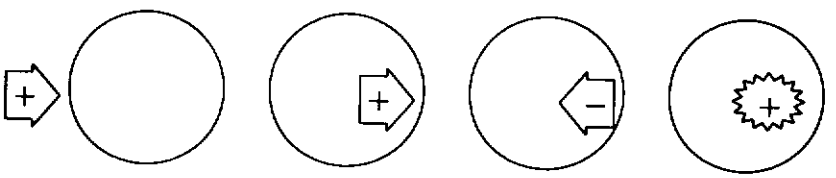
การสลายนิ่วด้วย ESWL เกิดจากการให้คลื่นช็อคหลายๆ ครั้ง อาจจะยิงซ้ำจนเห็นเม็ดนิ่วแตกเป็นผง (ภาพถ่ายเอกซเรย์) ไม่เห็นเงานิ่ว (ไม่มี acoustic shadow ในภาพ US) หรือยิงถึงประมาณ 1,500–1,600 ครั้ง โอกาสที่นิ่วจะร้าวหรือแตกจึงมีค่อนข้างสูง

ภาวะแทรกซ้อนมักจะแปรตามจำนวนครั้งของคลื่นช็อคที่ใช้ ยิ่งมากยิ่งเสี่ยงต่อภาวะแทรกซ้อนมาก จึงไม่ควรยิงเกิน 2,000 ครั้ง (ต่อไตหนึ่งข้าง)[13]

1.3 ผลของคลื่นช็อคต่อร่างกายและนิ่ว

ผลกระทบของคลื่นช็อคในคนงานเหมือง (จากระเบิด) มีรายงานมากว่า 200 ปีแล้ว พยาธิสภาพมีลักษณะคล้ายกับคนที่ได้รับแรงกระแทกจากระเบิดในสงครามโลกครั้งที่ 1 และ 2 อวัยวะที่บาดเจ็บมากที่สุดได้แก่ ปอดและลำไส้ เนื่องจากภายในมีหน้าสัมผัสของตัวกลางที่มีสถานะต่างกัน (ของเหลว–แก๊ส)[5]

ชาวรัสเซียชื่อ Yutkin นำคลื่นช็อคมาใช้สลายนิ่วกระเพาะปัสสาวะตั้งแต่ปีพ.ศ. 2493



รูปที่ 4 แสดงแรงที่กระทำต่อด้านหลังนิ่ว

ถ้าเปรียบแรงทางด้านหน้าของนิ่วคงคล้ายการโยกไม้หลักปักเลนเที่ยวเดียว ส่วนแรงทางด้านหลังมีลักษณะกลับไปกลับมา คล้ายกับการโยกไม้หลักปักเลนไปมา 3 ครั้ง นิ่วจึงมีโอกาสร้าวหรือแตกทางด้านหลังมากกว่าทางด้านหน้า

เครื่องมือดังกล่าวอาศัยการสร้างคลื่นช็อคด้วยประกายไฟฟ้า จากการใส่ขั้วไฟฟ้า เข้าไปในร่างกาย[15,16]

ในปี 2509 บริษัทผลิตเครื่องบิน Dornier ศึกษาเกี่ยวกับการสึกกร่อนจากการบินเร็วเหนือ

เสียงชนหยดน้ำฝน[8] วิศวกรคนหนึ่งสัมผัสกับวัตถุที่ใช้ทดสอบผลของคลื่นช็อคโดยบังเอิญ และรู้สึกเหมือนถูกไฟช็อต ความบังเอิญที่เกิดกับคนที่ "รู้จักคิด" ทำให้เกิดสมมติฐานว่า คลื่นช็อคน่าจะเดินทางผ่านเนื้อเยื่อของร่างกายได้[17] บริษัทดังกล่าวจึงทำการศึกษาผลของคลื่นช็อคในสัตว์ทดลองพบว่า คลื่นช็อคที่สร้างขึ้นในน้ำสามารถเดินทางจากน้ำเข้าสู่เนื้อเยื่อได้ดี และคลื่นช็อคมีอันตรายต่อปอด

นักฟิสิกส์ 3 ท่านได้เสนอแนวคิดในการใช้คลื่นช็อคสลายนิ่วในไต แนวคิดนี้ได้รับการสนับสนุนจากศาสตราจารย์ Schmidt ว่า ถ้านำคลื่นช็อคมาสลายนิ่วในไตได้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงแนวคิดในการรักษานิ่วระดับ "ปฏิวัติวงการ" วิสัยทัศน์นี้มีส่วนสำคัญในการทำให้รัฐบาลเยอรมนีสนับสนุนโครงการวิจัยร่วมกันระหว่างบริษัทและทีมแพทย์[18]

การทดลองสลายนิ่วในคนประสบความสำเร็จในปีพ.ศ. 2523 หลังจากนั้น ESWL ก็แพร่หลายไปทั่วโลก ประเทศไทยมีเครื่อง ESWL เครื่องแรกในปีพ.ศ. 2530

ในปีพ.ศ. 2537 อาจารย์วิโรจน์ ตั้งเจริญเสถียรและคณะทำการศึกษาเรื่อง ESWL ในปีพ.ศ. 2537 พบว่า ประเทศไทยมี ESWL 28 เครื่อง เครื่องเหล่านี้อยู่ในกทม. 11 เครื่อง ภาคอีสาณ 10 เครื่อง ภาคเหนือ 6 เครื่อง และภาคกลาง 1 เครื่อง

2. ESWL

จุดเด่นของ ESWL อยู่ที่การสร้างคลื่นช็อคจากภายนอกร่างกาย ทำการรวมคลื่น เข้าสู่นิ่วภายในร่างกาย ทำให้นิ่วแตกเป็นเม็ดเล็กๆ หรือป่นเป็นผง และถูกขับออกจากร่างกาย

2.1 เครื่อง ESWL

ESWL มีส่วนประกอบสำคัญ 4 ส่วนได้แก่ แหล่งกำเนิดคลื่นช็อค (shock wave generators) ส่วนโฟกัส (focusing) ส่วนหาตำแหน่งนิ่ว (localizing) และบริเวณส่งถ่ายพลังงาน (coupling)[8,9,14,19]

2.1.1 แหล่งกำเนิดคลื่นช็อค

แหล่งกำเนิดคลื่นช็อคที่สำคัญมี 3 ชนิด ได้แก่ ชนิดประกายไฟฟ้า (spark gap, electrohydraulic) ชนิดเพียโซอีเล็คตริค (piezoelectric) และแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic)

แหล่งกำเนิดคลื่นช็อคชนิดประกายไฟฟ้าประกอบด้วยขั้วไฟฟ้า 2 ขั้ว เมื่อทำให้เกิดความต่างศักย์สูงนับหมื่นโวลต์ (18-25 kV) จะเกิดประกายไฟฟ้า กลไกการทำให้เกิดคลื่นช็อคคล้ายกับปรากฏการณ์ฟ้าแลบฟ้าร้อง[18]

แรงดันคลื่นช็อค ณ จุดโฟกัสภายในร่างกาย (F2) มีแรงดันประมาณ 900-1,100 บาร์ นั่นคือประมาณ 1,000 เท่าความดันบรรยากาศ (1 bar = 0.987 standard atmosphere)

แรงดัน ณ จุดโฟกัส (F2) มีค่าเท่ากับ 13,230-16,170 psi (1 bar = 14.7 psi หรือ ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ถ้าเปรียบเทียบกับแรงดันลมรถยนต์ (ประมาณ 26-30 psi) แล้ว จะเห็นได้ว่า แรงดัน ณ จุดโฟกัสมีค่าสูงมาก[11,13,18]

แหล่งกำเนิดคลื่นช็อคชนิดเพียโซอีเล็คตริคประกอบด้วยผลึกเซรามิกที่วางเรียงกันบนด้านใน (concave) ของจานรูปโค้ง (arc) ผลึกทั้งหมดจะยืดออกไปทางเดียวกัน (polarized expansion) เมื่อได้รับกระแสไฟฟ้า ทำให้เกิดแรงดัน (คลื่นช็อค)

แหล่งกำเนิดคลื่นช็อคชนิดแม่เหล็กไฟฟ้าประกอบด้วยขดลวด (electromagnetic coil) และแผ่นโลหะ (metallic membrane) กลไกการทำงานคล้ายลำโพงวิทยุ (stereo loudspeaker) กระแสไฟฟ้าที่ผ่านขดลวดทำให้เกิดสนามแม่เหล็ก สนามแม่เหล็กทำให้แผ่นโลหะเคลื่อนไหว และเกิดคลื่นช็อค

2.1.2 ส่วนโฟกัส

การรวมคลื่น (โฟกัส) ทำให้เม็ดนิ่วซึ่งอยู่ ณ จุดโฟกัส (F2) ได้รับคลื่นช็อคมากกว่าเนื้อเยื่อโดยรอบ (นอกจุดโฟกัส) โอกาสเกิดอันตรายต่ออวัยวะต่างๆ จึงลดลง

ถ้าเปรียบคงคล้ายการรวมแสงแดดด้วยเลนส์นูน ส่วนที่เป็นจุดรวมแสงจะมีความเข้มของแสงแดดสูง และเกิดความร้อน (อุณหภูมิสูง) กว่าบริเวณรอบๆ

วิธีโฟกัสมี 3 วิธีใหญ่ๆ ได้แก่ การสะท้อน การรวมคลื่นโดยตรง และการใช้เลนส์เสียง (acoustic lens)

การสะท้อนใช้จานสะท้อนรูปครึ่งวงรี (semiellipsoid หรือ parabola) นิยมใช้กับแหล่งกำเนิดคลื่นช็อคชนิดประกายไฟฟ้าและแม่เหล็กไฟฟ้า

การรวมคลื่นโดยตรงใช้กับแหล่งกำเนิดคลื่นชนิดเพียโซอีเล็คตริก วิธีนี้อาศัยหลักการวางผลึกบนด้านใน ของส่วนโค้ง ซึ่งเป็นส่วนหนึ่งของวงกลม จุดโฟกัสของส่วนโค้งจึงเป็นจุดเดียวกับจุดศูนย์กลางวงกลม

ถ้าเปรียบคงคล้ายขนมเค้กที่ถูกตัดแบ่งตามแนวรัศมี จะได้ชิ้นขนมมีฐานโค้ง และมีจุดยอดแหลมซึ่งเป็นจุดเดียวกับจุดศูนย์กลางวงกลม

การใช้เลนส์เสียง ใช้กับแหล่งกำเนิดคลื่นชนิดแม่เหล็กไฟฟ้า วิธีนี้อาศัยหลักการหักเห ของคลื่นเสียงคล้ายกับเลนส์รวมแสง วิธีนี้ใช้กับเครื่องกำเนิดคลื่นช็อคชนิดเพียโซอีเล็คตริคบางรุ่น

2.1.3 ส่วนหาตำแหน่งนิ่ว

เครื่อง ESWL เกือบทุกเครื่องจะมีเอกซเรย์พร้อมจอภาพโทรทัศน์ (fluoroscopy) เป็นอุปกรณ์มาตรฐาน บางเครื่องจะมีเครื่องตรวจคลื่นเสียงความถี่สูง (ultrasound,US) ร่วมด้วย

เอกซเรย์ใช้หาตำแหน่งนิ่วชนิดทึบรังสี (radiopaque) และติดตามผลการสลายนิ่ว นิ่วที่ไม่ทึบรังสี (radiolucent) อาจใช้วิธีฉีดสารทึบรังสี (radiopaque contrast media) ทำให้เห็นเงานิ่วโปร่งรังสี (filling defect) ได้ ข้อเสียของเอกซเรย์ที่สำคัญได้แก่ ความเสี่ยงอันตรายจากรังสี (ionizing radiation)

US ใช้หาตำแหน่งนิ่วได้ทั้งชนิดทึบและไม่ทึบต่อรังสี US สามารถใช้ติดตามตำแหน่งนิ่วได้ตลอดเวลาที่ทำการสลายนิ่ว ถ้าคนไข้เคลื่อนไหวก็ปรับแก้ตำแหน่งใหม่ได้ US ไม่มีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีเอกซ์ ทำให้โอกาสเกิดภาวะแทรกซ้อนจากการยิงผิดตำแหน่งลดลง

ขีดจำกัดที่สำคัญของ US ได้แก่ ไม่สามารถหาตำแหน่งนิ่วได้กรณีมีแก๊สในลำไส้บัง เช่น นิ่วในทางเดินน้ำดีรวม (Common bile duct) ส่วนใหญ่จะมีแก๊สในกระเพาะอาหารหรือลำไส้บัง ฯลฯ การฝึกหัดทำ US มักจะใช้เวลานานกว่าการใช้เอกซเรย์ชนิดมีจอโทรทัศน์[8,14]

การใช้ US ติดตามผลการสลายนิ่วว่า แตกเป็นเม็ดเล็กหรือผงแล้วหรือไม่ (จะได้หยุดยิง) การตรวจติดตามมักจะถือว่า นิ่วแตกพอแล้วเมื่อเงา (acoustic shadow) ของนิ่วหายไป

US มักจะมีความแม่นยำน้อยกว่าการถ่ายภาพเอกซเรย์ เครื่องที่ดีจึงควรจะมีทั้งเอกซเรย์และ US ทั้งนี้ก็เพื่อนำข้อดีของอุปกรณ์ทั้งสองมาใช้ร่วมกัน

2.1.4 บริเวณส่งถ่ายพลังงาน

ร่างกายมีสถานะโดยรวมเป็นของเหลว เครื่องกำเนิดคลื่นช็อคจึงต้องอยู่ในของเหลว (น้ำ) เดินทางเข้าสู่ร่างกาย (ผ่านส่วนสัมผัสหรือบริเวณส่งถ่ายพลังงาน) และรวมคลื่น (โฟกัส) เข้าสู่นิ่ว

เครื่องรุ่นที่หนึ่ง (first generation) เป็นแบบ "อ่าง" ให้คนไข้แช่ทั้งตัว (water bath) ยกเว้นส่วนศีรษะกับคอ เครื่องรุ่นที่สองเป็นแบบ "แอ่ง" ให้คนไข้เปียกเฉพาะส่วนสัมผัส รุ่นต่อมามีลักษณะคล้ายถังหรือถุง (water bags) นิยมใช้แผ่นพลาสติกบาง (membrane) คั่นและใช้เจล หรือวาสลินทาผิวหนังเพื่อป้องกันอากาศแทรก[13]

ความเจ็บปวดจากการสลายนิ่วมักจะเกิดบริเวณผิวหนังบริเวณส่วนสัมผัส และบริเวณใกล้จุดโฟกัส บริเวณผิวหนังจะเจ็บมากหรือน้อยแปรตามความแรงของคลื่นช็อค (ยิ่งแรงยิ่งเจ็บ) จำนวนครั้งที่ยิง (ยิ่งมากยิ่งเจ็บ) และแปรผกผันกับพื้นที่ผิวสัมผัส ซึ่งเป็นผิวหนังที่คลื่นช็อคเดินทางเข้าสู่ร่างกายหรือ aperture size (ยิ่งแคบยิ่งเจ็บ)

ความเจ็บปวดบริเวณผิวหนังเกิดจากการสะท้อนคลื่นช็อคบางส่วนบริเวณผิวหนัง ค่าแรงต้านทานเสียงของน้ำกับเนื้อเยื่อต่างกันเล็กน้อย ทำให้เกิดหน้าสัมผัส (น้ำ-เนื้อเยื่อ) และเกิดการสะท้อนบางส่วน เครื่องรุ่นแรกๆ เจ็บมากจนต้องใช้ยาสลบ

เครื่องรุ่นต่อมาใช้คลื่นช็อคที่มีพลังงานต่ำลง บริเวณหน้าสัมผัส ระหว่างส่วนกำเนิดคลื่นช็อคกับผิวหนังกว้างขึ้น โดยใช้จานสะท้อนใหญ่ขึ้น หรือส่วนโค้งวงกลม (กรณีเพียโซอีเล็คตริก) ใหญ่ขึ้น

การมีพื้นที่ผิวสัมผัส (contact surface area หรือ aperture size) หรือส่วนที่พลังงาน (คลื่นช็อค) เข้าสู่ร่างกายมากขึ้นทำให้พลังงานกระจายไปในบริเวณกว้าง ความเข้มข้นของพลังงานต่อพื้นที่ลดลง ทำให้ไม่ต้องใช้ยาสลบ

บริเวณใกล้จุดโฟกัสได้แก่ อวัยวะรอบๆ นิ่ว เช่น ไต เยื่อหุ้มไต กล้ามเนื้อ ฯลฯ จะได้รับพลังงานที่มีความเข้มสูงรองจากนิ่ว จึงอาจเกิดความชอกช้ำหรือเลือดออกได้

2.2 การประยุกต์ใช้ ESWL

ESWL เหมาะกับนิ่วทางเดินปัสสาวะมากกว่านิ่วทางเดินน้ำดี โดยเฉพาะนิ่วถุงน้ำดี สาเหตุเนื่องจากค่าแรงต้านทานเสียงของนิ่วทางเดินปัสสาวะใกล้เคียงของแข็ง ค่าแรงต้านทานเสียงของนิ่วทางเดินน้ำดีใกล้เคียงของเหลว

นิ่วทางเดินปัสสาวะมีอัตราส่วนสะท้อนของคลื่นช็อคมากกว่านิ่วทางเดินน้ำดี เกิดแรงดันและแรงดึงมากกว่า ทำให้โอกาสที่นิ่วจะแตกเป็นเม็ดเล็กหรือผงมีมากกว่า ส่วนนิ่วทางเดินน้ำดีมักจะมีรอยร้าวหรือรอยแยกอยู่ก่อน การสลายนิ่วจะทำให้รอยร้าวเหล่านี้ขยายตัว และแตกในที่สุด

นิ่วทางเดินปัสสาวะหลุดได้ง่ายกว่านิ่วทางเดินน้ำดี เนื่องจากปริมาณปัสสาวะต่อวัน มากกว่าน้ำดี ถ้าเปรียบคงคล้ายแม่น้ำที่มีน้ำไหลแรงย่อมจะพัดพากรวดทรายไปทางปลายน้ำได้มากกว่าแม่น้ำที่น้ำไหลช้า

นิ่วทางเดินปัสสาวะที่นำมาสลายนิ่วส่วนใหญ่อยู่ในไต ไตอยู่สูงกว่าท่อไตและกระเพาะปัสสาวะ ทำให้อยู่สูงในท่ายืนหรือนั่ง (not gravity-dependent) ถ้าเปรียบคงคล้ายที่ดอนซึ่งน้ำไม่ค่อยขัง เมื่อนิ่วสลายเป็นเม็ดเล็กหรือผงย่อมจะตกลงสู่ส่วนล่างได้ง่าย

นิ่วทางเดินปัสสาวะส่วนน้อยอยู่ในที่ต่ำ (gravity-dependent) เช่น กรวยไตส่วนล่าง (lower calyces) เปรียบคล้ายที่ลุ่มซึ่งน้ำขังได้ง่าย เมื่อนิ่วสลายเป็นเม็ดเล็กหรือเป็นผงอาจจะตกค้างอยู่ได้

นิ่วทางเดินน้ำดีที่นำมาสลายนิ่วมักจะเป็นนิ่วถุงน้ำดี ซึ่งอยู่ในที่ต่ำ เนื่องจากถุงน้ำดีมักจะห้อยลงต่ำกว่าท่อถุงน้ำดี และท่อน้ำดีรวม

น้ำดีมีความหนืด สูงกว่าน้ำปัสสาวะ ท่อถุงน้ำดี ค่อนข้างแคบ (2-3 มม.) และคดเคี้ยวมากกว่าท่อไต ปัจจัยเหล่านี้รวมกับการที่ถุงน้ำดีมักจะมีการหดตัวผิดปกติ หลังการสลายนิ่วระยะหนึ่ง (หลายสัปดาห์จนถึงหลายเดือน) ทำให้การสลายนิ่วทางเดินน้ำดีทำได้ยาก[14,20]

นิ่วถุงน้ำดีในประเทศตะวันตกมีอัตราส่วนนิ่วชนิดโคเลสเตอรอลค่อนข้างสูง การสลายนิ่วทำให้นิ่วแตกเป็นเม็ดเล็กลง มีพื้นที่ผิวเพิ่มขึ้น และใช้สารละลาย เช่น กรดน้ำดี ฯลฯ ช่วยละลายอีกต่อหนึ่ง[21]

นิ่วถุงน้ำดีในประเทศไทยมีอัตราส่วนนิ่วชนิดโคเลสเตอรอลค่อนข้างน้อย การใช้ ESWL ร่วมกับสารละลายนิ่วจึงทำได้ยาก[22] นอกจากนี้โรคของถุงน้ำดี เช่น ถุงน้ำดีอักเสบเรื้อรัง ฯลฯ ยังคงอยู่ และมีโอกาสเกิดนิ่วซ้ำได้

เนื่องจาก ESWL ไม่ได้แก้ไขสาเหตุที่ทำให้เกิดภาวะน้ำดีเข้มข้นถึงจุดอิ่มตัว[14] ทำให้มีโอกาสเป็นซ้ำได้ การผ่าตัดจึงน่าจะมีความเหมาะสมมากกว่า ESWL

นิ่วทางเดินปัสสาวะที่นิยมนำมาสลายนิ่วมากที่สุดได้แก่ นิ่วในไต ส่วนนิ่วกระเพาะปัสสาวะ นิยมรักษาโดยการผ่าตัดหรือรักษาผ่านกล้องส่องต่างๆ เพราะทำได้ค่อนข้างง่าย

นิ่วในท่อไต มักจะสลายได้ยากกว่านิ่วในไต เนื่องจากนิ่วในไตมักจะมีน้ำล้อมรอบ นิ่วในท่อ

ไตมักจะอยู่ใกล้ชิดกับท่อไต ทำให้เกิดหน้าสัมผัสแบบของแข็ง (นิ่ว) - เนื้อเยื่อ (ท่อไต) อัตราส่วนการสะท้อนจะน้อยกว่าหน้าสัมผัสแบบของแข็ง (นิ่ว) - น้ำ (นิ่วในไตส่วนใหญ่)

เมื่อนิ่วในท่อไตบางส่วนแตกเป็นเม็ดเล็กหรือผง เศษผงเหล่านี้มักจะตกค้างอยู่รอบเม็ดนิ่วที่เหลือ และบังคลื่นช็อค คลื่นช็อคจึงส่งไปถึงเม็ดนิ่วด้านในได้ไม่ดี นิ่วในไตซึ่งมักจะมีน้ำล้อมรอบ เวลานิ่วแตกจะหลุดลงสู่กรวยไตหรือท่อไตได้ง่ายกว่า

2.3 ขีดจำกัดของ ESWL

ขีดจำกัดของ ESWL มีทั้งด้านการบริหารจัดการ ขีดจำกัดทางเทคนิค และบุคลากร

2.3.1 ขีดจำกัดด้านการบริหารจัดการ

ในด้านการบริหารจัดการ อาจารย์วิโรจน์ ตั้งเจริญเสถียรและคณะทำการวิจัยพบว่า พฤติกรรมต้นทุนส่วนใหญ่เป็น capital incentive หรือค่าเสื่อมราคามากกว่า 90% ของต้นทุนรวมทั้งหมด ถ้าซื้อเครื่องที่ราคาค่อนข้างต่ำ น่าจะมีโอกาสใช้ให้คุ้มทุนได้สูงขึ้น[23]

การกระจายของ ESWL ยังไม่สอดคล้องกับอุบัติการณ์ของนิ่ว ซึ่งมีความชุกสูงในภาคอีสานและภาคเหนือ นอกจากนี้เครื่องที่มีอยู่ยังมีประสิทธิผลหรือผลิตภาพค่อนข้างต่ำ จำนวนผู้ป่วย 7.6-46.2 ราย/เดือน เฉลี่ย 21.9 ราย/เดือน ถ้ามีจำนวนผู้ป่วยเพิ่มขึ้นน่าจะมีโอกาสใช้ให้คุ้มทุนได้สูงขึ้น[23]

รายงานดังกล่าวบ่งชี้ว่า งาน ESWL ณ โรงพยาบาลรามาธิบดีซึ่งมีประสิทธิผลสูงสุดเป็นเครื่องของเอกชนทำสัญญาร่วมกับภาครัฐและมีบุคลากรรังสีเทคนิค ร่วมงานในทีมสลายนิ่ว

ผู้เขียนเชื่อว่า ถ้าผู้บริหารส่งเสริมให้บุคลากรที่ไม่ใช่แพทย์ ได้รับการฝึกอบรมอย่างดีและทำงานร่วมกับแพทย์ในลักษณะผู้ร่วมงานหรือทำกันเป็นทีม ไม่ใช่รับคำสั่ง ประสิทธิผลของบริการสาธารณสุขน่าจะเพิ่มขึ้นได้

2.3.2 ขีดจำกัดทางเทคนิค

ขีดจำกัดทางเทคนิคที่สำคัญของ ESWL ได้แก่ นิ่วควรจะมีขนาดเล็ก (ไม่เกิน 2 ซม.) และทางเดินปัสสาวะส่วนล่างต้องไม่อุดตัน หรือไม่มี distal obstruction[5] นิ่วในประเทศไทยมักจะมีขนาดใหญ่ โอกาสสลายนิ่วได้มีเพียงประมาณ 10-20 % ของคนไข้ทั้งหมด[24]

ข้อห้ามในการทำ ESWL ได้แก่ การตั้งครรภ์ (มีความเสี่ยงอันตรายจากรังสีสูง) การใช้เครื่องกระตุ้นการเต้นหัวใจ (cardiac pacemakers) การติดเชื้อทางเดินปัสสาวะใต้ (distal) ต่อนิ่ว และการมีหินปูนจับเส้นเลือดแดงไต (renal artery) ข้างที่มีนิ่ว ถ้าจำเป็นจะต้องทำในรายที่ใช้เครื่องสลายนิ่วควรทำภายใต้การดูแลของอายุรแพทย์[5]

ข้อควรระวังในการทำ ESWL ได้แก่ ภาวะเสี่ยงต่อหัวใจวาย ปอดบวม กะบังลมต่ำมาก และภาวะเลือดออกง่าย (bleeding disorders)[5]

ปกติหลังสลายนิ่วจะมีเลือดปนมาในปัสสาวะ (hematuria) ได้โดยเฉพาะใน 2-3 วันแรก นิ่วมักจะหลุดออกมาใน 3 เดือน[9] ควรอธิบายให้คนไข้เข้าใจ หน่วยสลายนิ่วอาจขอให้คนไข้กรองน้ำปัสสาวะเพื่อเก็บเศษนิ่วใส่ขวดไว้สำหรับการศึกษาวิจัย

นิ่วที่มีขนาดไม่เกิน 2 ซม. จะมีโอกาสหาย (3 month stone-free rate) 75-95% นิ่วที่มีขนาดใหญ่มักจะสลายได้ยาก โอกาสหายลดลงเหลือ 30-60% เสี่ยงต่อการอุดตันของท่อไตและภาวะแทรกซ้อนเพิ่มขึ้น[6] เช่นเลือดออกในไต เยื่อหุ้มไต หรือบริเวณใกล้เคียง ฯลฯ

นิ่วในประเทศตะวันตกใช้ ESWL รักษาได้ถึง 70 % นิ่วในประเทศไทยมักจะมีขนาดใหญ่ ESWL คงช่วยได้ประมาณ 10 % อีก 10 % อาจต้องใช้ ESWL ร่วมกับการรักษาวิธีอื่น[6]

การสลายนิ่วในไต (โดยเฉพาะนิ่วเม็ดโต) อาจทำให้เกิดการอุดตันของท่อไตได้ นิ่วดังกล่าวเรียงกันเป็นแถว คล้ายถนนหิน (street of stones) จึงมีชื่อเรียกในภาษาเยอรมันว่า "straisstrasse" หรือ "straisstrassen"[9,25]

การศึกษาวิจัยเกี่ยวกับสาเหตุของนิ่ว และการรณรงค์ป้องกันเป็นเรื่องสำคัญ[9] ESWL ทดแทนการผ่าตัดได้เพียงบางส่วน และเป็นการแก้ที่ปลายเหตุ มาตรการป้องกันและรักษาน่าจะทำไปพร้อมๆ กัน

2.3.3 ขีดจำกัดทางบุคลากร

งานสลายนิ่วเป็นงานที่ต้องอาศัยบุคลากรหลายฝ่ายมาร่วมกันเป็นทีม เช่น ศัลยแพทย์เป็นเจ้าของไข้หรือทำการสลายนิ่ว พยาบาลช่วยดูแลคนไข้ รังสีแพทย์หรือบุคลากรรังสีเทคนิคช่วยหาตำแหน่งนิ่ว สลายนิ่ว และดูแลเครื่อง บุคลากรห้องปฏิบัติการช่วยตรวจปัสสาวะ บุคลากรอื่นๆ อาจช่วยสื่อสารหรืออธิบายให้คนไข้และญาติเข้าใจ ฯลฯ

องค์กรในภาครัฐ (government organization, GO) มักจะมีปัญหาคล้ายกันทั่วโลก ได้แก่ "มีคนมาก แต่มีคนทำงานน้อย" การที่จะทำให้คนที่มีน้อยทำงานมากได้ต้องทำกันเป็นทีม

อาจารย์พันทิพา พัฒนาวินทร์ โรงพยาบาลเด็กสอนผู้เขียนว่า "การเรียนรู้ที่จะ appreciate (รู้สึกในคุณค่าและแสดงความขอบคุณผู้อื่น) มีความสำคัญในการทำงานร่วมกัน" ท่านให้ข้อสังเกตว่า การ appreciate ทำให้ทีมงานมีความสุข และทำงานได้ดี

3. สรุป

ESWL เป็นการนำคลื่นช็อคจากภายนอกร่างกายมารวมคลื่น (โฟกัส) เพื่อสลายนิ่ว นิ่วที่เหมาะกับการใช้ ESWL มากที่สุดได้แก่ นิ่วในไตที่มีขนาดไม่เกิน 2 ซม. และไม่มีการอุดตันของทางเดินปัสสาวะส่วนล่าง[24]

ESWL เกิดจากความร่วมมือร่วมหัว (คิด) ระหว่างนักวิทยาศาสตร์ วิศวกร แพทย์ และทุนการศึกษาวิจัยจากภาครัฐที่มี "วิสัยทัศน์ (vision)"

แนวคิดเริ่มแรก มาจากความบังเอิญที่เกิดกับคนที่ "พร้อม" หรือรู้จักคิด แนวคิดดังกล่าวได้รับการสนับสนุน ให้สานต่อจนเกิดนวัตกรรม (innovation) การสร้างสิ่งใหม่จึงต้องอาศัยทั้งนักคิด นักบริหาร (ส่งเสริม) และนักทำ ถ้าจะเปรียบคงคล้ายทีมวิ่งผลัดที่จะขาดฝ่ายหนึ่งฝ่ายใดไม่ได้เลย[25]

นิ่วเป็นโรคแห่งความเจ็บปวด ภาพถ่ายมัมมี่อียิปต์ (Egyptian mummy) ตรวจพบนิ่วในถุงน้ำดี หลักฐานนี้บ่งบอกถึงโรคที่มีประวัติอันยาวนาน[26]

ภาวะขาดแคลนบุคลากรในภาครัฐมีส่วนทำให้คนไข้นิ่วจำนวนมากต้องรอคิวผ่าตัดค่อนข้างนาน ESWL เป็นทางเลือกที่จะช่วยให้คนไข้ส่วนหนึ่งหายได้แบบ "ไม่ต้องผ่า"

เอกสารอ้างอิง

1. Gillenwater JY. Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy for the Treatment of Urinary Calculi. In : Adult and Pediatric Urology. Gillenwater JY, Grayhack JT, Howards SS, Duckett JW, eds, 2nd ed, St. Louis : Mosby Year Book, 1991, 695-710.
2. Wolf Jr. JS, Nakada SY, Aliperti G, Edmundowicz SA, Clayman RV. Washington University experience with extracorporeal shock-wave lithotripsy of pancreatic duct calculi. Urology 1995; 46: 638-42.
3. McGurk M, Escudier M. Removing salivary gland stones. Bri J Hosp Med 1995; 54; 184-85.
4. Yoshizaki T, Maruyama Y, Motoi I, Wakasa R, Furukawa M. Clinical evaluation of extracorporeal shock wave lithotripsy for salivary stones. Ann Otol Rhinol Laryngol 1996; 105: 63-7.
5. Jenkins Ad. Patient Selection and Education. In : Principles of Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy. Riehle Jr RA, ed, 1st ed,

New York : Churchill Livingstone Inc, 1987, 67-77.

6. Brendel DW. Mechanisms of Action in Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy : Experimental Studies. In : Biliary Lithotripsy. Ferrucci JT, Delius M, Burhenne HJ, eds, 1st ed, Boston : Year Book Medical Publishers, 1989, 31-42.
7. Paumgartner G. Shock-wave lithotripsy of gall stones. AJR 1989; 153: 235-42.
8. Stoller ML. Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy. In : Smith's General Urology. Tanagho EA, McAninol JW, eds, 14th ed, Connecticut : Appleton & Company, 1995, 305-12.
9. Muller MDM, Brendel DW. Extracorporeal Shock Waves : Properties and Principles of Generation. In : Biliary Lithotripsy. Ferrucci JT, Delius M, Burhenne HJ. eds. 1st ed. Boston : Year Book Medical Publishers, 1989, 9-15.
10. Zagzebski JA. Physics and Instrumentation. In : Diagnostic Ultrasound Applied to Obstetrics and Gynecology. Sabbagha RE, ed, 3rd ed, Philadelphia : JB Lippincott, 1994, 3-42.
11. Hunter II PT. The Physics and Geometry Pertinent to ESWL. In : Principles of Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy. Riehle, Jr. RA, eds, 1st ed, New York : Churchill Livingstone Inc, 1987, 13-27.
12. Smith B, Frossmann B, Schneider W. Dornier MPL 9000 Multipurpose Lithotripter. In : Billiary Lithotripsy II. Ferrucci JT, Delius M, Burhenne HJ, eds, 1st ed. Boston : Year Book Medical Publishers, 1989, 205-9.
13. Newman RC, Riehle Jr RA. Principles of Treatment. In : Principles of Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy. Riehle, Jr. RA, eds, 1st ed, New York : Churchill Livingstone Inc, 1987, 70-105.
14. Ferrucci JT. Biliary Lithotripsy : What will be the Issues?. In : Billiary Lithotripsy. Ferrucci JT, Delius M, Burhenne HJ, eds, 1st ed, Boston : Year Book Medical Publishers, 1989, 1-8.
15. พิชัย บุณยะรัตเวช. การรักษานิ่วในไตและท่อไตด้วยวิธีไม่ผ่าตัด (ตอนที่ 1). คลินิก 2531; 4: 101-4.
16. พิชัย บุณยะรัตเวช. การรักษานิ่วในไตและท่อไตด้วยวิธีไม่ผ่าตัด (ตอนที่ 2). คลินิก 2531; 4: 170-4.
17. Jocham D. Historical Development of ESWL. In : Principles of Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy. Riehle, Jr. RA, eds, 1st ed, New York : Churchill Livingstone Inc, 1987, 1-11.
18. Newman RC, Jocham D. Biologic Effects of Shock Waves. In : Principles of Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy. Riehle, Jr. RA, eds, 1st ed, New York : Churchill Livingstone Inc, 1987, 31-47.
19. Ferrucci JT. Billiary Lithotripsy : 1989 Overview. In : Biliary Lithotripsy II. Ferrucci JT, Delius M, Burhenne HJ, eds, 1st ed, Boston : Year Book Medical Publishers, 1989, 1-13.
20. Delius, Brendel W. In Vivo

Parameters of Gallstone Fragmentation : Experimental Basis. In : Biliary Lithotripsy. Ferrucci JT, Delius M, Burhenne HJ, eds, 1st ed, Boston : Year Book Medical Publishers, 1989, 49-58.

21. ไพโรจน์ เหลืองโรจนกุล. การรักษานิ่วในทางเดินน้ำดีโดยไม่ต้องผ่าตัด. คลินิก. 2531; 4: 111-4.
22. ทวีสิน ตันประยูร. แนวโน้มในการรักษานิ่วในระบบทางเดินน้ำดี. ใน : นวลจันทร์ ปราบพาล, ชาญ โพชนุกูล บรรณาธิการ. เวชปฏิบัติร่วมสมัย 2. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : จุฬาลงกรณมหาวิทยาลัย, 2534, 11-4.
23. วิโรจน์ ตั้งเจริญเสถียร, สุกัลยา คงสวัสดิ์, พินทุสร เหมพิสุทธิ์, นวลอนันต์ ตันติเกตุ, งามจิตต์ จันทรสาธิต, วงเดือน จินดาวัฒนะ. การใช้เครื่องสลายนิ่วในประเทศไทย : ประสิทธิภาพและความเสมอภาค. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : องค์การสงเคราะห์ทหารผ่านศึก 2537, 1-19.
24. อนุพันธ์ ตันติวงศ์. วิธีการใหม่ในการรักษานิ่วในทางเดินปัสสาวะส่วนบน. ใน : การสัมมนาแห่งชาติเรื่อง นิ่วในทางเดินปัสสาวะและ Renal Tubular Acidosis ครั้งที่ 1. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : เมดิคัล มีเดีย, 2530, 226-30.
25. ศิระ โอภาสพงษ์ (แปล) ค้นหาความเป็นเลิศ : กุศโลบายบริหารธุรกิจจากประสบการณ์ 62 บริษัทเหนือชั้นของอเมริกา. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพมหานคร : คู่แข่ง, 2538, 365-421.
26. Fedullo LM, Pollack HM, Banner MP, Amendola MA, Van Arsdalen KN. The development of steinstrassen after ESWL : frequency, natural histor, and radiologic management. AJR. 1988; 151: 1145-7.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณอาจารย์ประเทือง ชมสูง, อาจารย์จุฑารัตน์ คุ้มทรัพย์, นพ. พรชัย ชยาบูรณ์, คุณมงคล แก้วก่องมา, บุคลากรห้องสมุดโรงพยาบาลลำปาง, บุคลากรห้องสมุดคณะแพทยศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่สำหรับความอนุเคราะห์ในการค้นหาเอกสาร.