พื้นฐานเลเซอร์ทางการแพทย์

วัลลภ พรเรืองวงศ์ พ.บ.
กลุ่มงานรังสีวิทยา โรงพยาบาลลำปาง

การนำเลเซอร์มาประยุกต์ใช้นับเป็นวิวัฒนาการครั้งสำคัญครั้งหนึ่งของวงการแพทย์[1-8] เลเซอร์ได้เปิดทางเลือกใหม่ให้กับการผ่าตัดหลายสาขาโดยเฉพาะการผ่าตัดที่ต้องการความประณีตสูง จี้หรือตัดได้ทั้งแบบสัมผัสและไม่ต้องสัมผัสเนื้อเยื่อ ฆ่าเชื้อ,ห้ามเลือดได้ในเวลาเดียวกัน และช่วยให้หัตถการผ่านกล้อง (laparoscopic / endoscopic treatment) ก้าวหน้าขึ้นอีกมาก

โรงพยาบาลลำปางซึ่งมีฐานะเป็นโรงพยาบาลศูนย์ขนาด 800 เตียงมีเลเซอร์ 4 เครื่อง ในจำนวนนี้เป็นเลเซอร์สำหรับงานผ่าตัดตา 2 เครื่อง (อาร์กอน-คริปตอน และเอ็นดีแย็ก) และเลเซอร์ประจำห้องผ่าตัด 2 เครื่อง (คาร์บอนไดออกไซด์และเอ็นดีแย็ก)

ถึงแม้ว่าแพทย์ที่ใช้เลเซอร์ส่วนใหญ่จะเป็นแพทย์เฉพาะทางสาขาต่างๆ[2] แพทย์เวชปฏิบัติทั่วไปและบุคคลากรสาธารณสุขสาขาอื่นๆ เช่น เภสัชกร พยาบาล นักเทคนิคการแพทย์ ฯลฯ ก็ควรรู้เรื่องเลเซอร์ไว้บ้าง ทั้งนี้เพราะทีมงานที่ใช้เลเซอร์ต้องอาศัยบุคคลากรหลายฝ่ายช่วยกันใช้ ดูแล และสื่อสารกับคนไข้ (และญาติ) การสื่อสารกับคนไข้ไม่ใช่หน้าที่ของแพทย์เท่านั้น แต่เป็นหน้าที่ของบุคคลากรสาธารณสุขทุกคน

บทความเรื่องพื้นฐานเลเซอร์แบ่งเป็น 2 ตอนใหญ่ๆ ตอนแรกเป็นพื้นฐานฟิสิกส์แบบมีภาพประกอบ ตอนที่สองกล่าวถึงผลของเลเซอร์ในทางชีววิทยา ข้อดี ขีดจำกัด และมาตรการความปลอดภัย

ตอนที่ 1 พื้นฐานฟิสิกส์ของเลเซอร์

เลเซอร์ (LASER) มาจากคำว่า "Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation"[2] หมายถึงแสงหรือรังสีที่แผ่ไปโดยการกระตุ้น (ไม่ใช่แบบธรรมดาหรือ spontaneous emission of radiation) ส่วนจะกระตุ้นวิธีใดและต่างจากแสงหรือรังสีทั่วไปอย่างไรจะกล่าวในภายหลัง ถึงตรงนี้ขออธิบายคุณสมบัติพื้นฐานของเลเซอร์ก่อนว่า เลเซอร์เป็นลำแสง (หรือรังสี) ขนาน (ไม่ลู่เข้าหรือบานออก) และมีกำลังสูงกว่าลำแสง (หรือรังสี) ทั่วๆ ไป

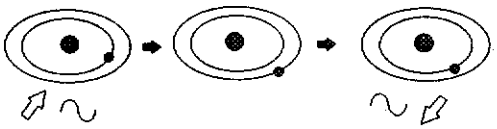
ความแรงของเลเซอร์เมื่อเทียบกับลำแสงทั่วๆไปอาจเปรียบได้กับการขว้างของหนัก 2 กิโลกรัมใส่ใครสักคน แสงทั่วๆไปไม่ค่อยมีกำลังคล้ายการขว้างทรายเข้าใส่ ส่วนเลเซอร์จะมีกำลังสูงคล้ายการขว้างก้อนหินเข้าใส่

1.1. การแผ่รังสีแบบธรรมดา

แสง (หรือรังสี) ทั่วๆไปเกิดจากการแผ่รังสีแบบธรรมดา (spontaneous emission of radiation) ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงพลังงานในชั้นอีเล็คตรอน อีเล็คตรอนมีวงโคจร (shells) รอบนิวเคลียสคล้ายๆกับวงโคจรของดาวเคราะห์รอบดวงอาทิตย์ วงโคจรชั้นนอกมีระดับพลังงานสูงกว่าชั้นใน ถ้าจะเปรียบคงคล้ายอาคารที่มีชั้นต่างๆ หลายชั้น ชั้นบนย่อมจะมีพลังงานศักย์จากแรงดึงดูดสูงกว่าชั้นล่าง รังสีบางชนิด (เช่น แกมมา ฯลฯ) เกิดจากการเปลี่ยนแปลงภายในนิวเคลียสซึ่งจะไม่ขอกล่าวถึงในบทความนี้

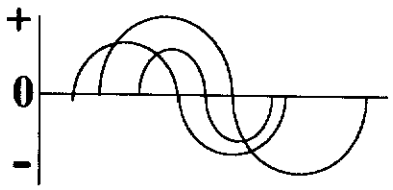
อีเล็คตรอนในภาวะปกติหรือภาวะพื้นฐาน (ground state) ซึ่งได้รับพลังงาน (photon) จากภายนอกจะเกิดการเปลี่ยนวงโคจรโดยขยับขึ้นไปยังชั้นบน เกิดเป็นอีเล็คตรอนในภาวะถูกกระตุ้น (excited state) ซึ่งมีเสถียรภาพต่ำกว่าภาวะปกติ (unstable) อีเล็คตรอนจะพยายามกลับสู่สามัญหรือลงสู่ชั้นล่างดังเดิมซึ่งมีเสถียรภาพสูง (stable) พร้อมกับคายพลังงานออกมาเป็นโฟตอน (แสงหรือรังสี) 1 ตัว ดังภาพ (รูปที่ 1)

รูปที่ 1 แสดงการแผ่รังสีแบบธรรมดา



แสง (หรือรังสี) ทั่วๆไปเกิดจากการเปลี่ยนแปลงในชั้นอีเล็คตรอนจำนวนมากแบบต่างกรรมต่างวาระหรือไม่พร้อมเพรียงกัน (incoherent) ทำให้เสริมแรงกันได้ไม่ดีดังภาพ (รูปที่ 2) ทั้งนี้เพราะคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ามีคลื่นพลังงานเป็นรูปคล้ายตัวเอส (sine wave) ขาขึ้นมีค่าเป็นบวกและขาลงมีค่าเป็นลบ ระยะ (phase) ของคลื่นที่ได้มีค่า (ณ เวลาหนึ่งๆ) เป็นบวกบ้างลบบ้าง บางส่วนเกิดการหักล้างกันเอง แสง (หรือรังสี) ที่ได้จึงมีกำลังต่ำ

รูปที่ 2 แสดงคลื่นที่ได้จากการแผ่รังสีแบบธรรมดา



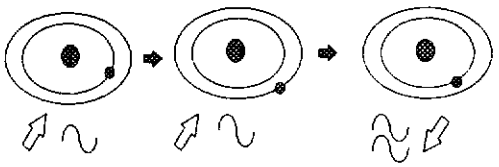
ทิศทางของแสง (หรือรังสี) ที่ได้จากการแผ่รังสีแบบธรรมดาจะกระจัดกระจายไปทุกทิศทุกทาง (undirectional) คล้ายผึ้งแตกรัง คลื่นที่ได้มีความยาวคลื่นต่างกัน (ไม่ใช่คลื่นความถี่เดียว)[3]

1.2. การแผ่รังสีแบบกระตุ้น

การแผ่รังสี (หรือแสง) แบบกระตุ้น (stimulated emission of radiation) เกิดเมื่อมีพลังงานจากภายนอก (โฟตอนตัวที่สอง) ถ่ายเทพลังงานให้กับอีเล็คตรอนในภาวะถูกกระตุ้น (excited state) ซึ่งได้รับการกระตุ้น (โดยโฟตอนตัวที่หนึ่ง) มาก่อน อีเล็คตรอนตัวนี้อยู่ในวงโคจรชั้นนอกอยู่ก่อนแล้ว และลดระดับพลังงานมาอยู่ในระดับกึ่งกลางหรือกึ่งเสถียร (metastable state) ระหว่างวงโคจรชั้นนอกกับชั้นใน ถ้าเปรียบวงโคจรชั้นนอกเป็นชั้นสองและวงโคจรชั้นในเป็นชั้นหนึ่งของอาคาร ระดับกึ่งกลางหรือกึ่งเสถียรจะคล้ายกับเป็นชั้นลอย

ช่วงเวลาที่มันอยู่ในระดับกึ่งกลางนี้มีช่วงเวลาสั้นประมาณ 10^{-6} (หนึ่งในล้าน) ถึง 1 วินาที[1] ถ้าได้รับพลังงานจากภายนอกครั้งที่สอง ณ จุดนี้พอดีจะกลับคืนสู่วงโคจรเดิมหรือกลับสู่สามัญ (stable state) พร้อมกันจะคลายพลังงานออกมาเป็นแสง (หรือรังสี) เทียบเท่ากับโฟตอน 2 ตัวดังภาพ (รูปที่ 3)

รูปที่ 3 แสดงการแผ่รังสีแบบกระตุ้น



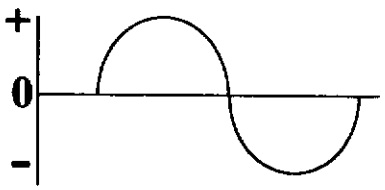
ความแตกต่างของการแผ่รังสีแบบกระตุ้นกับแบบธรรมดาคือแสง (หรือรังสี) ที่ได้มีคุณสมบัติของเลเซอร์ นั่นคือเป็นโฟตอนที่เหมือนกันทุกประการ (identical photon) ได้แก่ ความยาวคลื่นเท่ากัน (monochromatic) หรือความถี่เท่ากัน ทิศทางเดียวกัน (unidirectional) และเกิดขึ้นพร้อมกัน (coherent in phase)[4]

การได้แสง (หรือรังสี) ที่มีความยาวคลื่นเท่ากันทำให้แสง (หรือรังสี) ที่ได้เป็นแสงสีเดียวหรือรังสีชนิดเดียว (monochromatic) ไม่ใช่แสง (หรือรังสี) เช่นแสงทั่วๆไป การมีทิศทางเดียวกันทำให้แสง (หรือรังสี) ที่ได้มีลักษณะเป็นลำแสงขนาน (collimated/parellel) ไม่ลู่เข้า (convergent) หรือบานออก (divergent) อย่างแสงทั่วๆไป

การที่มันเกิดขึ้นพร้อมกันทำให้มีรูปหรือเฟส (coherent in phase) คลื่นเหมือนกัน คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารูปตัวเอส (sine wave) ที่ได้จะมีลักษณะเหมือนกันทั้งขาขึ้น (ค่าเป็นบวก) และขาลง (ค่าเป็นลบ) เมื่อเป็นบวกก็เสริมแรงไปทางบวก เมื่อเป็นลบก็เสริมแรงไปทางลบ การเสริม

แรงจึงเกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพสูงดังภาพ (รูปที่ 4) เนื่องจากคลื่นที่ได้เหมือนกันทุกประการ (identical) ภาพในกราฟจึงซ้อนกันสนิทคล้ายคลื่นเดียว ถ้าเปรียบการเกิดแสง (หรือรังสี) ทั่วๆไปคล้ายผึ้งแตกรัง การเกิดเลเซอร์จะเกิดขึ้นอย่างเป็นระเบียบคล้ายการเดินสวนสนามของทหารที่ฝึกมาอย่างดี

รูปที่ 4 แสดงคลื่นที่ได้จากการแผ่รังสีแบบกระตุ้น



1.3. ช่วงคลื่นเลเซอร์

เลเซอร์เป็นพลังงานในรูปของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (electromagnetic waves) คลื่นเหล่านี้แบ่งเป็นช่วงคลื่นชนิดต่างๆตามระดับพลังงานจากแกมมา รังสีเอกซ์ ยูวี (10-400 nm) แสง (400-750 nm) อินฟราเรด (750-1,000,000 nm) ไมโครเวฟ เรดาร์ และคลื่นวิทยุ (เรียงจากสูงไปหาต่ำ) [4] เลเซอร์ที่คนเราทำได้ครั้งแรกเป็นช่วงไมโครเวฟ ต่อมามีการค้นพบเลเซอร์ในช่วงอินฟราเรด (infrared) แสงที่ตามองเห็น (visible light) และยูวี (ultraviolet/UV) ตามลำดับ

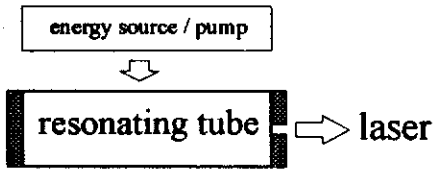
ช่วงคลื่นเลเซอร์ที่นำมาใช้ในวงการแพทย์มากที่สุดได้แก่ อินฟราเรด รองลงไปเป็นแสงที่ตามองเห็น และยูวีตามลำดับ[1] สำหรับช่วงคลื่นอินฟราเรดและยูวีนิยมแบ่งเป็นช่วงคลื่นใกล้ (near) กลาง (medium) และไกล (far) การแบ่งระยะแบบนี้นับช่วงคลื่นแสง (400-750 nm) เป็นหลัก

ช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ (near infrared/750-3,000 nm) อยู่ติดกับช่วงคลื่นแสงและมีคุณสมบัติคล้ายกันได้แก่ทะลุผ่านของใส (transparent materials) ในสถานะของแข็งและของเหลว (เช่น น้ำ ไข แก้ว ฯลฯ) ได้ ระบบนำแสงจึงใช้ใยแก้วนำแสง (fiberoptic) ได้ ช่วงอินฟราเรดไกล (6,000-15,000 nm) อยู่ไกลจากช่วงคลื่นแสงไม่สามารถทะลุผ่านของใสในสถานะของแข็งและของเหลวได้ (ถูกดูดซับ) ระบบนำแสงจึงต้องใช้กระจกเงา(mirrors)[4]

1.4. อุปกรณ์เลเซอร์

อุปกรณ์เลเซอร์ (laser equipment) ประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนได้แก่ สารเลเซอร์ (laser media/lasing media) ท่อหรือหลอดเลเซอร์ (resonating tube) [1-8] แหล่งพลังงาน (power supply/pump) และระบบนำแสงหรือรังสี (delivery system) ดังภาพ (รูปที่ 6)

รูปที่ 6 แสดงอุปกรณ์เลเซอร์



1.4.1. สารเลเซอร์

สารเลเซอร์ (laser media/lasing media) เป็นสารที่มีความต่างระดับพลังงานระหว่างอีเล็คตรอนชั้นต่างๆพอเหมาะพอดีที่จะกระตุ้นให้เกิดเลเซอร์ได้ สารที่มีคุณสมบัติเป็นสารเลเซอร์มีทั้งที่เป็นของแข็ง ของเหลว และแก๊ส บางชนิดอยู่ในรูปประจุบวกหรือลบ (ions) ซึ่งเกือบทั้งหมดเป็นแก๊สเฉื่อย (noble gases)[4] เช่น อาร์กอน คริปตอน ฯลฯ สารแต่ละชนิดจะให้เลเซอร์ที่มีความถี่เฉพาะ การเรียกชื่อเลเซอร์นิยมเรียกตามชื่อสารเลเซอร์[1-5]

เลเซอร์ที่นำมาใช้ในวงการแพทย์มากที่สุด ได้แก่ คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2) และเอ็นดีแย็ก (Nd:YAG/ Neodymium-doped yttrium-aluminum-garnet)[5] ส่วนอาร์กอน (Ar/Argon) มีที่ใช้รองลงไป เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์อยู่ในช่วงคลื่นอินฟราเรดไกล เลเซอร์เอ็นดีแย็กอยู่ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้ ส่วนเลเซอร์อาร์กอนอยู่ในช่วงคลื่นแสงดังตาราง (ตารางที่ 1) สำหรับคริปตอน (Kr/Krypton) นิยมใช้ควบคู่กับอาร์กอน คริปตอนให้เลเซอร์ช่วงแสงสีฟ้า-เขียว (488,514 nm) ส่วนอาร์กอน (Ar/argon) ให้เลเซอร์ช่วงแสงสีเหลือง (350,680 nm)[4]

ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติของเลเซอร์ที่ใช้บ่อย[1,2,3,4]

เลเซอร์ที่ใช้บ่อย	ช่วงคลื่น	สารที่ดูดซึมได้ดี
คาร์บอนไดออกไซด์ (CO_2)	อินฟราเรดไกล (10,600 nm)	น้ำ
เอ็นดีแย็ก (Nd:YAG)	อินฟราเรดใกล้ (1,600 nm)	สารที่มีสีคล้ำหรือดำ
อาร์กอน (Argon)	แสงสีฟ้า-เขียว (Ar 488,514 nm)	ฮีโมโกลบิน

เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ใช้มากจนได้ชื่อว่าเป็นม้าใช้งาน (workhorse) ทางศัลยกรรมและสูตินรีเวช[1,7] เลเซอร์เอ็นดีแย็กนิยมใช้ได้ในการผ่าตัดตาและทัศนการผ่านกล้อง เช่น ผ่าตัด ห้ามเลือด ฯลฯ ส่วน

เลเซอร์อาร์กอน-คริปตอนใช้มากในการผ่าตัดตา

1.4.2. ท่อเลเซอร์

ท่อเลเซอร์ (laser chamber) เป็นท่อรูปทรงกระบอกที่ออกแบบให้มีความยาวพอดี ที่จะช่วยเสริมแรงเลเซอร์ (resonance) ได้ ปลายกระบอกมีกระจกเงาทั้งสองด้าน ด้านหน้าเป็นกระจกเงาสะท้อนบางส่วน (partially reflecting mirror) เพื่อยอมให้แสง (หรือรังสี) ส่วนหนึ่งผ่านออกไปได้ อีกส่วนหนึ่งเก็บไว้กระตุ้นสารเลเซอร์ซ้ำ ตรงกลางมีรูเล็กๆให้เลเซอร์ทะลุออกไป ด้านหลังเป็นกระจกเงาสะท้อนกลับหมด (totally reflecting mirror) เพื่อสะท้อนแสง (หรือรังสี) กลับไปกระตุ้นสารเลเซอร์ซ้ำ

เนื่องจากแสง (หรือรังสี) ส่วนหนึ่งหลุดรอดไปทางด้านข้างของท่อและกลายเป็นความร้อน บริเวณรอบๆท่อเลเซอร์จึงต้องมีระบบระบายความร้อนหรือระบบหล่อเย็น (cooling system) ซึ่งมีทั้งแบบใช้อากาศ (aircooled) และใช้ของเหลว (circulatory cooling system) [1]

1.4.3. แหล่งพลังงาน

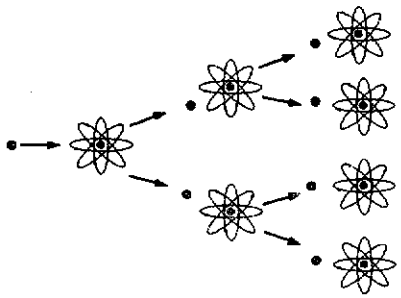
แหล่งพลังงาน (pump/energy sources) ที่ใช้กระตุ้นให้เกิดเลเซอร์มีทั้งที่เป็นไฟฟ้ากระแสตรง แสงแฟลช ความร้อน และใช้เลเซอร์ชุดหนึ่งกระตุ้นให้เกิดเลเซอร์อีกชุดหนึ่ง เนื่องจากพลังงานสามารถแปรรูปจากชนิดหนึ่งไปเป็นอีกชนิดหนึ่งได้

ปกติอีเล็คตรอนส่วนใหญ่จะอยู่ในสภาพปกติ (ground state) ซึ่งมีเสถียรภาพ (stability) สูง เมื่อเราให้พลังงานเข้าไปในท่อเลเซอร์มากพอที่จะทำให้อีเล็คตรอนของสารเลเซอร์ส่วนใหญ่เปลี่ยนระดับพลังงานจากภาวะปกติเป็นภาวะถูกกระตุ้น (excited state) เรียกกระบวนการกระตุ้นนี้ว่า "ปั๊มพ์ (pump) " [2,4] และเรียกภาวะที่อีเล็คตรอนส่วนใหญ่อยู่ในภาวะถูกกระตุ้นว่าภาวะประชากรผกผัน (population inversion) [1,2,4] ภาวะถูกกระตุ้นเป็นภาวะที่มีเสถียรภาพต่ำ (unstable) อีเล็คตรอนเหล่านี้จะพยายามกลับสู่วงโคจรระดับล่างพร้อมกับคายพลังงานในรูปแสง (หรือรังสี) เท่ากับโฟตอนครั้งละ 1 ตัว

การแผ่รังสีแบบนี้เป็นการแผ่รังสีแบบธรรมดา แสงหรือรังสีที่ได้เกิดขึ้นกระจัดกระจายไปทุกทิศทุกทาง ส่วนใหญ่จะหลุดไปทางด้านข้างของท่อและกลายเป็นความร้อน[2] ส่วนน้อยจะวิ่งไปในแนวขนานกับความยาวของท่อ และถ่ายเทพลังงานให้กับอะตอมที่ถูกชน แสงหรือรังสีในแนวนี้ส่วนน้อยจะชนกับอะตอมในภาวะปกติจะเกิดการแผ่รังสีแบบธรรมดา เกิดแสง (หรือรังสี) ครั้งละ 1 ตัว

แสง (หรือรังสี) ที่เกิดขึ้นส่วนใหญ่จะชนกับอะตอมในภาวะถูกกระตุ้น จะเกิดการแผ่รังสีแบบถูกกระตุ้นและได้แสง (หรือรังสี) ครั้งละ 2 ตัว เกิดการขยายกำลัง (amplification) ขึ้นแบบปฏิกริยาลูกโซ่ (chain reaction) คล้ายกับปฏิกริยานิวเคลียร์ฟิชชั่นในระเบิดปรมาณู[1] ดังภาพ (รูปที่ 6)

รูปที่ 6 แสดงการเกิดปฏิกริยาลูกโซ่



แสง (หรือรังสี) ที่สะท้อนกลับไปกลับมา (โดยกระจกเงา) ในแนวยาวของท่อเลเซอร์จะมีพลังงานรวมเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงแบบหนึ่งกลายเป็นสอง (แผ่รังสีแบบกระตุ้น) สลับกับแบบหนึ่งกลายเป็นหนึ่ง (แผ่รังสีแบบธรรมดา) ถ้าจะเปรียบก็คงคล้ายการลงทุนที่มีแต่กำไรกับเสมอตัว ผลรวมที่ได้ย่อมจะเปลี่ยนแปลงไปทางเพิ่มมากขึ้น บางส่วนจะออกไปทางด้านหน้าของท่อ

เลเซอร์ในปัจจุบันนับว่าเป็นเครื่องมือที่มีประสิทธิภาพต่ำ (เมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนพลังงานเลเซอร์ที่ได้กับพลังงานกระตุ้นที่ให้ไปทั้งหมด)[1] เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์มีประสิทธิภาพ 10-15% เลเซอร์เอ็นดีแย็กมีประสิทธิภาพเท่ากับหรือน้อยกว่า 2% ส่วนเลเซอร์อาร์กอนมีประสิทธิภาพเท่ากับหรือน้อยกว่า 1% พลังงานที่เหลือส่วนใหญ่แปรรูปเป็นพลังงานความร้อน

1.4.4. ระบบนำแสง (หรือรังสี)

ระบบนำแสงแบ่งเป็น 2 ระบบใหญ่ๆตามคุณสมบัติของเลเซอร์ได้แก่ ระบบใยแก้วนำแสง (fiberoptic) และระบบกระจกเงา (mirrors) ระบบใยแก้วนำแสงนิยมใช้กับเลเซอร์ในช่วงคลื่นอินฟราเรดใกล้และช่วงแสง เช่น เอ็นดีแย็ก คริปตอน-อาร์กอน ฯลฯ ระบบกระจกเงาใช้กับเลเซอร์ช่วงคลื่นใดก็ได้ ที่ใช้มากคือเลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ (ช่วงอินฟราเรดไกล) ระบบนี้มีลักษณะเป็นชุดกระจกเงายึดติดกับโครงและบานพับ (articulated arm system) ด้านนอกห่อหุ้มมิดชิด (เพื่อความปลอดภัย)

การนำเลเซอร์ที่มองไม่เห็นด้วยตาเปล่า (ช่วงอินฟราเรดและยูวี) จะต้องอาศัยเลเซอร์ในช่วงแสงที่ตามองเห็นมาช่วยเป็นแสงชี้นำ (aiming beam)[1] แสงชี้นำจะมีทิศทางและลำแสงเหมือนเลเซอร์หลัก (coaxial) เลเซอร์ที่นิยมนำมาใช้เป็นแสงชี้

นำได้แก่ฮีเลียม-นีออน (HeNe/Helium: Neon) ซึ่งให้แสงสีแดง[5]

ตอนที่ 2 การนำเลเซอร์ไปประยุกต์ใช้

วงการแพทย์นำเลเซอร์ไปประยุกต์ใช้ในการทำหัตถการ (procedures) ต่างๆมากมาย เช่น ผ่าตัด ห้ามเลือด ฯลฯ ต่อไปจะกล่าวถึงผลของเลเซอร์ทางชีววิทยา ข้อดีข้อเสียของเลเซอร์ และมาตรการความปลอดภัย

2.1. ผลของเลเซอร์ทางชีววิทยา (biological effects)

ผลของเลเซอร์ทางชีววิทยามีหลายอย่าง ผลที่นำมาใช้มากที่สุดเป็นผลจากความร้อน (thermal effects) ของเลเซอร์ในช่วงคลื่นอินฟราเรดและแสง[1,2,4] ผลจากความร้อนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่างได้แก่ กำลังเครื่อง (power) ขนาดลำแสงหรือรังสี (beam diameter) ระยะเวลาที่ยิงเลเซอร์ (exposure duration) ความสามารถในการดูดซึมและสะท้อน (absorption & scattering ratio) และการระบายความร้อนออกจากเนื้อเยื่อ (thermal conductivity)

เลเซอร์ที่มีขนาดลำแสงหรือรังสีเล็กจะมีความเข้มหรือความหนาแน่นกำลัง (power density) สูงกว่าเลเซอร์ที่มีขนาดลำแสงหรือรังสีใหญ่ ถ้าต้องการให้ร้อนมาก (อุณหภูมิสูง) ก็ปรับโฟกัสให้ได้ระยะ (focus) ลำเลเซอร์ที่ได้จะมีขนาดเล็ก ถ้าต้องการให้ร้อนน้อย (อุณหภูมิ) ต่ำก็ปรับโฟกัสให้เสียระยะ (defocus) ลำเลเซอร์ที่ได้จะมีขนาดใหญ่ หลักการนี้เหมือนกับการใช้แว่นขยายรวมแสงแดด ถ้าปรับโฟกัสได้ระยะพอดีจะได้จุดเล็กและร้อนมาก ถ้าขยับเข้าหรือออกจะเสียระยะโฟกัส จุดที่ได้จะใหญ่ขึ้นและร้อนน้อยลง

อุณหภูมิในเนื้อเยื่อส่วนมากจะขึ้นกับอุณหภูมิที่เกิดขึ้นและระยะเวลา ยิ่งอุณหภูมิสูงยิ่งมีผลมาก ยิ่งนานยิ่งมีผลมาก ส่วนเลเซอร์ช่วงคลื่นยูวีจะทำปฏิกริยาแบบ photochemical[2] ซึ่งจะไม่ขอกล่าวถึงในบทความนี้

2.1.1. อุณหภูมิ

เลเซอร์ทำให้เกิดความร้อนขึ้นในเนื้อเยื่อ ช่วงอุณหภูมิ 60-65'C นาน 2-3 วินาทีจะเกิดการเสื่อมสภาพ (denaturation) และตกตะกอน (coagulation) ของโปรตีน คุณสมบัตินี้นำมาใช้ ห้ามเลือด (hemostasis) ได้ ช่วงอุณหภูมิ 90-100'C น้ำจะระเหยออกไปทำให้เนื้อเยื่อแห้งเหี่ยว ช่วงอุณหภูมิถึง 100'C น้ำในเซลล์และรอบเซลล์จะเดือด ถ้าอุณหภูมิสูงมากกว่า100'C. จะเกิดการเผาไหม้ (burning) และเกิดถ่านในรูปควัน (carbonization/burning/

blackening)[3] คุณสมบัตินี้นำมาใช้จี้ให้กลายเป็นไอ (vaporization) หรือตัด (cut) ได้ดังตาราง (ตารางที่ 2)

ตารางที่ 2 แสดงผลของเลเซอร์ที่อุณหภูมิต่างๆ

อุณหภูมิ	ผลทางชีววิทยา	การนำไปประยุกต์ใช้
60-65°C	โปรตีนเสื่อมสภาพ, ตกตะกอน	ห้ามเลือด
มากกว่า 100°C	เผาไหม้,เกิดควัน	จี้ให้กลายเป็นไอหรือตัด

เราควบคุมความร้อนที่เกิดขึ้นได้ด้วยการปรับกำลัง (power) ของเครื่องและปรับขนาด (focus/defocus) ของลำแสง (หรือรังสี) ถ้าเพิ่มกำลังเครื่องจะทำให้อุณหภูมิที่ได้สูงขึ้น ถ้าลดกำลังเครื่องจะทำให้อุณหภูมิที่ได้ต่ำลง ส่วนการปรับขนาดของลำแสง (หรือรังสี) อาศัยการปรับรวม (focus) และการปรับกระจาย (defocus) ถ้าปรับรวม (focus) จะได้ลำแสง (หรือรังสี) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กซึ่งมีความหนาแน่นกำลังหรือความเข้ม (power density) สูง อุณหภูมิที่ได้จะสูง ตรงกันข้ามถ้าปรับกระจาย (defocus) จะได้อุณหภูมิต่ำ

ถ้าจะเปรียบก็คงคล้ายการนำแว่นเลนซ์นูนมาปรับรวม (focus) แสงแดดเป็นจุดเล็กทำให้ร้อนได้มาก ถ้าเลื่อนเลนซ์นูนขึ้นลงจะเสียระยะโฟกัส (defocus) จะเกิดจุดขนาดใหญ่ขึ้นทำให้ร้อนได้น้อย เลเซอร์จึงเป็นอุปกรณ์ช่วยผ่าตัดที่ใช้จี้ (cutting by focusing) และห้ามเลือด (coagulating by defocusing) ได้ในเครื่องเดียวกัน[6]

ผลของเลเซอร์ในการทำให้เกิดความร้อนมีทั้งแบบไม่จำเพาะเจาะจง (nonspecific) และจำเพาะเจาะจง (specific) เลเซอร์ในช่วงคลื่นอินฟราเรดไกลมักจะทำให้เกิดความร้อนแบบไม่จำเพาะเจาะจง (โดนอะไรก็ทำให้ร้อนหมด) เนื่องจากอินฟราเรดไกลดูดซึมได้ดีในน้ำ เลเซอร์ในช่วงคลื่นแสงที่ตามองเห็นมีคุณสมบัติคล้ายแสงทั่วๆไปคือมีแม่สีแสง 3 สี (RGB) ได้แก่ สีแดง (red) เขียว (green) และน้ำเงิน (blue) ถ้ากระทบเนื้อเยื่อสีเดียวกันจะสะท้อนค่อนข้างมาก (ดูดซึมน้อย) แต่ถ้ากระทบเนื้อเยื่อสีต่างกันหรือสีดำจะสะท้อนค่อนข้างน้อย (ดูดซึมมาก) สำหรับเลเซอร์ช่วงอินฟราเรดใกล้นั้นคุณสมบัติจะอยู่กลางๆระหว่างอินฟราเรดไกลและแสงคือดูดซึมได้ดีในสารสีคล้ำหรือดำดังตารางที่ 1[1]

เลเซอร์ในช่วงแสงจึงมีคุณสมบัติในการทำให้เกิดความร้อนแบบจำเพาะเจาะจงกับเนื้อเยื่อบางชนิดได้ถ้ามีสีเหมาะสม (chromogen) [2] เช่น อาร์กอน (แสงสีฟ้า-เขียว) ถูกดูดซับได้ดีในเนื้อเยื่อหรือสารสีแดง (เช่น ฮีโมโกลบิน ฯลฯ) คุณสมบัตินี้ทำให้ใช้เลเซอร์วินิจฉัยหรือทำลายรอยโรค (lesions) บางอย่างได้

ปัจจุบันมีการวิจัยเกี่ยวกับการรักษามะเร็งด้วยการฉีดสารจับสี (photosensitizers/chromophore) [2,9] สารจับสีจะดูดซับพลังงานเลเซอร์และส่งถ่ายพลังงานให้สารอื่นที่ปกติไม่สามารถจับ (ดูดซับ) สีได้ เช่น hematophophyrin derivatives (HPD) ฯลฯ เข้าไปในเลือด สารนี้จะไปจับเซลล์มะเร็งบางชนิดได้มากกว่าเนื้อเยื่อปกติ เมื่อให้เลเซอร์ในช่วงคลื่นที่เหมาะสมเข้าไปจะเกิดปฏิกริยาแบบจำเพาะเจาะจงต่อเซลล์มะเร็ง เช่น เลเซอร์แสงช่วงคลื่นสั้น (สีออกไปทางม่วง) และยูวีทำให้เกิดการเรืองแสงเพื่อช่วยหาตำแหน่งมะเร็งบางชนิด เลเซอร์แสงช่วงคลื่นยาว (630 nm/สีแดง) สามารถกระตุ้น HPD ให้เกิดอนุภาคออกซิเจนอิสระ (singlet oxygen/$_1O^2$) ซึ่งมีฤทธิ์ทำลายเซลล์ (cytotoxic) เรียกการรักษาแบบนี้ว่า "การรักษาด้วยแสง(Photodynamic therapy) " [2,9]

2.1.2. ระยะเวลา

เนื้อเยื่อโดยทั่วไปมีการระบายความร้อนออกเพื่อลดการบาดเจ็บหรือตายของเซลล์จากความร้อนได้ถ้ามีช่วงพักเรียกว่า "ช่วงเย็นตัว (thermal relaxation time) " ระยะเวลาดังกล่าวมีค่าต่างกันไปในเนื้อเยื่อต่างๆ [8] สำหรับผิวหนังมีค่าประมาณ 10^{-6} (เศษหนึ่งส่วนล้าน) วินาที [8] เนื้อเยื่อที่มีการระบายความร้อนดี เช่น มีการไหลเวียนเลือดดี ฯลฯ ก็จะทนต่อความร้อนได้ดีขึ้น

เนื้อเยื่อที่ถูกยิงด้วยเลเซอร์จะเกิดผลของความร้อนขึ้นเป็น 3 ส่วน (zones) [1] ส่วนในจะระเหยและระเหิดหายไป ทำให้เกิดเป็นแอ่งหรือหลุม เนื่องจากเกิดการระเหยกลายเป็นไอ (vaporization) หรือไหม้เป็นควัน (carbonization) ส่วนกลางจะเกิดตายของเซลล์ (necrosis) และส่วนนอกจะเกิดการบาดเจ็บของเซลล์จากความร้อน (thermal injury)

เราต้องการให้ส่วนกลาง (เซลล์ตาย) และส่วนนอก (เซลล์บาดเจ็บ) เกิดขึ้นน้อยที่สุด เนื่องจากบริเวณดังกล่าวมีส่วนทำให้แผลหายช้าและเสี่ยงต่อการติดเชื้อได้ การใช้เลเซอร์แบบยิงเป็นช่วงหรือยิงสลับหยุด (pulsed/superpulsed wave) จะทำให้เซลล์รอบๆตายหรือบาดเจ็บน้อยกว่ายิงต่อเนื่อง (continuous wave) เนื่องจากเซลล์ที่อยู่รอบๆบางส่วนมีเวลาระบายความร้อน

ออกไปบ้าง โอกาสที่จะเกิดเซลล์ตายจะน้อยลงถ้าระยะเวลาการยิงแต่ละครั้งสั้นกว่าระยะเวลาเย็นตัวของเนื้อเยื่อ การลดภาวะแทรกซ้อน เช่น แผลหายช้า แผลเป็น ฯลฯ จึงต้องอาศัยการใช้กำลังสูงในเวลาสั้น[6]

2.2. ข้อดีและขีดจำกัดของเลเซอร์

2.2.1. ข้อดีของเลเซอร์

เลเซอร์มีข้อดีที่สำคัญได้แก่ การช่วยทำหัตถการต่างๆได้โดยฆ่าเชื้อได้ในตัว (จากเกิดความร้อน) เลเซอร์ที่ส่งผ่านไปตามใยแสงได้ช่วยให้หัตถการผ่านกล้องโดยเฉพาะการผ่าตัดสะดวกขึ้นมาก ห้ามเลือดได้ในตัวเป็นส่วนใหญ่ สามารถทำการห้ามเลือดโดยผ่านกล้องส่อง (endoscopy) ได้[9] เช่น กรณีเลือดออกจากทางเดินอาหารส่วนบน ฯลฯ

เลเซอร์ช่วยผ่าตัดได้โดยไม่ต้องสัมผัสกับเนื้อเยื่อโดยตรง (no tissue contact/non-contact) [1-5] เลเซอร์บางชนิด เช่น เอ็นดีแย็ก ฯลฯ ใช้ได้ทั้งแบบไม่สัมผัสและสัมผัส (non-contact/contact mode) กรณีต้องการจี้หรือตัดใช้กับเลนซ์แซฟไฟร์ (sapphire tip) แบบสัมผัสได้[9] แผลผ่าตัดมีความชอกช้าน้อยกว่าปกติทำให้การบวมหลังผ่าตัดลดลง อาการปวดแผลหลังผ่าตัดน้อยกว่าการผ่าตัดทั่วๆไป[7]

เลเซอร์บางชนิดเช่น Nd:YAG 1w. ฯลฯ เมื่อทดลองใช้ด้วยกำลังต่ำ (มีคุณสมบัติในการเชื่อม (welding) ทำให้มีผู้วิจัยทดลองนำไปใช้เชื่อมเส้นเลือด ลำไส้ ท่อไต (ureter) และผิวหนัง[9]

2.2.2. ขีดจำกัดของเลเซอร์

ข้อจำกัดของเลเซอร์ที่สำคัญได้แก่ เครื่องมือแพงทำให้ต้นทุนการรักษาแพงไปด้วย ห้ามเลือดไม่ได้ในกรณีเส้นเลือดใหญ่ เช่น เส้นเลือดขนาดเล็กไม่เกิน 0.5 ซม. ถ้าใช้เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ ไม่เกิน 1 มม.ถ้าใช้เลเซอร์เอ็นดีแย็ก ฯลฯ เส้นเลือดขนาดใหญ่กว่านี้ยังต้องอาศัยการผูกห้ามเลือดตามปกติ

ปัญหาใหญ่ของเลเซอร์อย่างหนึ่งคือควันเลเซอร์ ควันเลเซอร์มีขนาด 0.1-0.8 ไมครอน[1,7] ขนาดของควันเล็กกว่าเซลล์ทำให้มั่นใจได้ว่าปลอดภัยจากการแพร่กระจายของเซลล์มะเร็ง (กรณีผ่าตัดมะเร็ง) ขนาดของควันใหญ่กว่าไวรัสทำให้พบดีเอ็นเอของไวรัส เช่น papillomavirus ฯลฯ ในควันได้ ที่สำคัญคือควันนี้อยู่ในช่วงอันตรายต่อปอด (0.5-5 ไมครอน) [7] จึงต้องมีเครื่องดูดควันเลเซอร์ (smoke evacuation) ซึ่งส่วนมากติดตั้งมาพร้อมกับเครื่อง (built-in vacuum extraction system/fume evacuator) [2,5]

ขีดจำกัดอีกอย่างหนึ่งของเลเซอร์ได้แก่ขีดจำกัดในการตัดหรือการทะลุทะลวง (penetration) เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ทะลุได้ 0.1 มม. เลเซอร์อาร์กอนทะลุได้ 1 มม. และเลเซอร์เอ็นดีแย็กทะลุได้ 4 มม. เลเซอร์จึงเหมาะกับหัตถการขนาดเล็กที่ต้องอาศัยความละเอียดประณีต และไม่สามารถทดแทนการใช้มีดของศัลยแพทย์ได้ทั้งหมดโดยเฉพาะการผ่าตัดรอยโรค (lesions) ที่ใหญ่มากๆ

2.3. มาตรการความปลอดภัย

พื้นฐานความปลอดภัยในการใช้เลเซอร์ที่สำคัญที่สุดคือความรู้[1,5] บุคคลากรในทีมที่ใช้เลเซอร์ควรมีโอกาสเรียนรู้เกี่ยวกับเลเซอร์ให้ดีพอที่จะเข้าใจและสื่อสารกับคนไข้ (และญาติ) ได้ มาตรการความปลอดภัยทั่วไปได้แก่

2.3.1. **ป้องกันเลเซอร์เข้าตา** อวัยวะวิกฤต (critical organ) สำหรับเลเซอร์ได้แก่ดวงตา[1,2,5] เลเซอร์อินฟราเรดไกล (คาร์บอนไดออกไซด์) ถูกดูดซับได้ดีในน้ำ ถ้าเข้าตาจะทำอันตรายต่อแก้วตา (cornea) ทำให้แก้วตาขุ่น (corneal opacification) และตาบอดได้ เลเซอร์ช่วงอินฟราเรดใกล้ (เอ็นดีแย็ก) และแสงทะลุผ่านแก้วตา (หรือส่วนที่มีน้ำ) ได้ทำให้มีอันตรายต่อองค์ประกอบของดวงตาได้หลายอย่าง ที่เสี่ยงอันตรายที่สุดได้แก่จอตา (retina)

บุคคลากรในห้องผ่าตัดทุกคนต้องสวมแว่นตาป้องกันที่เหมาะสมกับชนิดของเลเซอร์ เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ใช้แว่นตากระจกหรือพลาสติกใสได้ ส่วนเลเซอร์อื่นๆต้องใช้แว่นพิเศษตามที่บริษัทผู้ผลิตแนะนำ อุปกรณ์ผ่าตัดควรจะมีผิวด้านและสีดำเพื่อลดโอกาสสะท้อนแสง (หรือรังสี) [1] ควรมีป้ายเตือนบอกการใช้เลเซอร์และชนิดของเลเซอร์ไว้ที่ประตู

2.3.2. **ป้องกันอันตรายจากควัน**[2] ต้องมีการตรวจสอบเครื่องดูดควันก่อนใช้ทุกครั้ง ปลายของท่อดูดควันควรจะอยู่ใกล้บริเวณผ่าตัด เพราะยิ่งใกล้จะยิ่งดูดควันได้ดี

2.3.3. **ป้องกันอันตรายจากการลุกติดไฟ**[1,2,5] ต้องมีเครื่องดับเพลิงไว้ประจำผ้าเจาะกลางควรจะเลือกชนิดทนไฟ ติดไฟยาก หรือทำให้เปียก (ถ้าทำได้) ไม่ใช้ก๊าซไวไฟในบริเวณผ่าตัด กรณีผ่าตัดทางเดินหายใจพร้อมกับใส่ท่อช่วยหายใจ (endotracheal tube) ควรห่อท่อด้วยแผ่นอลูมิเนียมบาง (foil)

2.3.4. **ป้องกันเลเซอร์พลาดไปถูกเนื้อเยื่อรอบๆ**[1,2,5] ป้องกันเนื้อเยื่อรอบบริเวณผ่าตัดด้วยสำลี (cottonoid) ผ้าก๊อซชุบน้ำ หรือเครื่องป้องกันทำด้วยควอตซ์ (quartz guard)

สรุป

เลเซอร์เป็นแสง (หรือรังสี) ที่ได้จากการแผ่รังสีแบบกระตุ้น มีลักษณะที่สำคัญคือเป็นลำแสง (หรือรังสี) ขนาน (collimated/parellel) มีกำลังสูง (high brightness/intensity) และประกอบด้วยแสง (หรือรังสี) เพียงความถี่เดียว (monochromatic)[4]

เลเซอร์มีส่วนทำให้วงการแพทย์เกิดความก้าวหน้าในการรักษาโรคสาขาต่างๆมาก บุคคลากรสาธารณสุขควรสนใจเรื่องเกี่ยวกับเลเซอร์ไว้ประกอบการใช้งานและสื่อสารกับคนไข้ (และญาติ) สำหรับท่านที่ยังไม่ได้ใช้ในวันนี้ ,ความรู้เรื่องเลเซอร์ก็อาจมีประโยชน์ได้ในวันข้างหน้า ทั้งนี้เพราะอนาคตของเลเซอร์นั้นกล่าวได้ว่า "น่าจะก้าว (หน้า) ไปได้อีกไกล"

เอกสารอ้างอิง

1. Keye WR. Laser surgery in gynecology and obstetrics. 2nd ed. Chicago : Year Book Medical Publisher, 1990:14-43.
2. Dixon JA. Surgical application of lasers. 1st ed. Chicago : Year Book Medical Publisher, 1985:1-39.
3. Stein BS. Laser physics and tissue interaction. In : Joseph A, Smith Jr, eds. Laser in urologic surgery. 2nd ed. Chicago : Year Book Medical Publisher, 1989:1-21.
4. Fuller TA.Fundamentals of laser surgery. In : Fuller TA, eds. Surgical lasers. 1st ed.New York : Macmillan Publishing Company, 1987:1-17.
5. Joffe SN.Laser in general surgery. 1st ed. Baltimore : Williams & Wilkins, 1989: 1-15.
6. วิสิทธิ์ สุภัครพงษ์กุล. การใช้คาร์บอนไดออกไซด์เลเซอร์ทางนรีเวชวิทยา. กรมการแพทย์ 1992; 4:291-299.
7. บุญชู กุประดิษฐารมณ์. บทบาทของเซอร์กับการแพทย์ยุคใหม่. ใน : สยมพร ศิรินาวิน. บรรณาธิการ. การประชุมวิชาการรามาธิบดีประจำปี พิมพ์ครั้งที่ 1. กทม. : สุพรการพิมพ์, 2534: 121-132.
8. นิวัติ พลนิกร. วิทยาการก้าวหน้าในการใช้แสงเลเซอร์ในโรคผิวหนัง. รามาธิบดีเวชสาร 1994, 4:291-299.
9. ไพศาล พงศ์ชัยฤกษ์. Laser endoscopy. ใน : สยมพร ศิรินาวิน. บรรณาธิการ. การประชุมวิชาการรามาธิบดีประจำปี พิมพ์ครั้งที่ 1.กทม. :สุพรการพิมพ์, 2534:133-142.