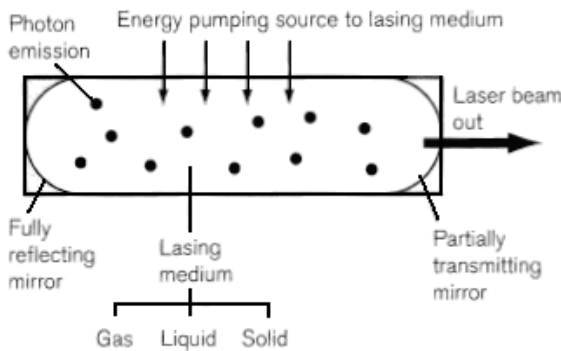


## เลเซอร์ในงานวิสัญญีวิทยา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ยงยุทธ ขจรปรีดานนท์

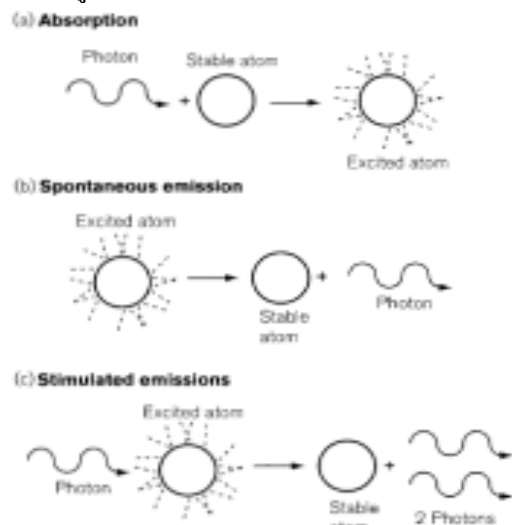
ขณะที่มีการใช้เลเซอร์ในการผ่าตัดมากขึ้นตลอดเวลา และโดยที่เลเซอร์เองมีความเป็นอันตรายต่อทั้งผู้ป่วย และเจ้าหน้าที่ในห้องผ่าตัด ทำให้วิสัญญีแพทย์จำเป็นต้องเรียนรู้และเข้าใจ ถึงหลักการและคุณสมบัติพื้นฐานของเลเซอร์ด้วย

คำว่า เลเซอร์ (LASER) เป็นคำย่อของคำ Light Amplification by Stimulating Emission of Radiation เลเซอร์มีลักษณะเป็นลำแสงความเข้มสูงชนิดสีเดียว (monochromatic light) ลำแสงนี้จะมีพื้นที่หน้าตัดเล็กมากและมีรูปร่างเป็นลำแสงขนานไม่บานปลายออก คุณสมบัตินี้ทำให้เลเซอร์สามารถถ่ายทอดพลังงานไปสู่บริเวณที่เล็กมากๆ ได้ด้วยความแม่นยำสูง ลำแสงขนานที่มีความเข้มสูงนี้จะนำพลังงานจำนวนมาก ถ่ายทอดลงบนเนื้อเยื่อในบริเวณเล็กๆ ที่กำหนดไว้ได้ ความยาวคลื่นเลเซอร์ถูกกำหนดโดยตัวกลางที่สร้างลำแสง อย่างไรก็ตาม ถึงแม้จะกล่าวว่าการเลเซอร์เป็นแสงชนิดสีเดียว ต้นกำเนิดเลเซอร์ส่วนใหญ่ยังคงกำเนิดเลเซอร์เป็นแถบความยาวคลื่นเล็กซึ่งประกอบด้วยแสงหลายความถี่ใกล้ๆ กัน



รูปที่ 1 แสดงตัวกลางเลเซอร์

ส่วนประกอบพื้นฐานของเลเซอร์ได้แสดงไว้ในรูปที่ 1 ตัวกลางเลเซอร์ (lasing medium) สามารถมีได้หลายสถานะทั้งในรูปของแข็ง ของเหลว และก๊าซ อะตอมของตัวกลางเลเซอร์จะถูกกระตุ้นขึ้นสู่ระดับพลังงานสูงโดยอาศัยปั๊มพลังงาน ซึ่งอาจเป็นการใช้ศักย์ไฟฟ้าแรงสูงในกรณีก๊าซ เป็นแสงกระพริบ ความเข้มสูงจากหลอดไฟแฟลช หรือเป็นพลังงานจากคลื่นวิทยุที่มีพลังงานสูง เป็นต้น รูปที่ 2 แสดงการขบวนการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าและการ ปลดปล่อยพลังงานที่เกิดขึ้นสำหรับกรณีในตัวกลางเลเซอร์ในสถานะก๊าซ โฟตอนจากปั๊มพลังงานอาจถูกดูดกลืน โดยอะตอมที่อยู่ในสถานะพื้น (ground state) ซึ่งจะเปลี่ยนแปลงขึ้นสู่สถานะถูกกระตุ้น (excited state) อิเล็กตรอนรอบนอกของอะตอมในสถานะถูกกระตุ้นนี้จะถูกยกระดับให้มีความระดับพลังงานสูงขึ้น การปลดปล่อยพลังงานอย่างทันทีทันใด เกิดขึ้นเมื่ออิเล็กตรอนเหล่านี้เลื่อนกลับคืนสู่ระดับพลังงานต่ำอย่างเดิมและอะตอมกลับคืนสู่สภาพปกติ



รูปที่ 2 แสดงการขบวนการกระตุ้นด้วยไฟฟ้าและการ ปลดปล่อยพลังงานที่เกิดขึ้น

ถ้าหากปั๊มพลังงานมีการป้อนโฟตอนที่มีพลังงานค่าถูกต้องอย่างต่อเนื่องไปเรื่อยๆ และโฟตอนเหล่านี้ถูกป้อนให้กับอะตอมในสถานะถูกกระตุ้นอยู่แล้ว เมื่ออะตอมกลับคืนสู่สถานะพื้น โฟตอนสองตัวจะถูกปลดปล่อยพร้อมกันแทนที่จะปลดปล่อยโฟตอนเพียงตัวเดียว Einstein ได้อธิบายหลักการพื้นฐานสำหรับเลเซอร์นี้ในปี พ.ศ. 2460 และเรียกการปรากฏการณ์ว่า การปลดปล่อยแบบถูกกระตุ้น (stimulated emission) และเรียกการกลับคืนสถานะแบบนี้ว่าการกลับคืนแบบประชากรเพิ่ม (population inversion) โฟตอนที่ถูกปล่อยออกมามีคุณสมบัติเหมือนโฟตอนที่กระตุ้นทุกประการ ทั้งด้านเฟส, โพลาริเซชัน และทิศทางการเคลื่อนที่ กลไกนี้ถูกขยายกำลังขึ้นเรื่อยๆ โดยอาศัยโฟตอนที่หนีออกมาให้สะท้อนกลับไปมาภายในตัวกลางเลเซอร์ ที่มีกระจกเงาปิดไว้ที่หัวท้ายทั้งสองด้าน เรียกว่าเกิดการป้อนกลับชนิดบวก หรือเกิดปฏิกิริยาลูกโซ่ (chain reaction) ภายในตัวกลางเลเซอร์ กระบวนการนี้ก่อให้เกิดพลังงานแสงความเข้มสูง ซึ่งแสงบางส่วนสามารถหลุดผ่านออกมาภายนอกได้ โดยการใส่กระจกที่เคลือบเงาเพียงบางส่วนที่ปลายด้านหนึ่งของตัวกลางเลเซอร์ ลำแสงเลเซอร์ที่ออกมาภายนอกนี้จะถูกชี้นำไปยังเนื้อเยื่อโดยอาศัยท่อใยแก้วนำแสงเป็นตัวกลาง อย่างไรก็ตามสำหรับเลเซอร์จากคาร์บอนไดออกไซด์ซึ่งมีค่าความยาวคลื่น 10.6 ซม. ไม่สามารถใช้ใยแก้วนำแสงถ่ายทอดพลังงานได้ ดังนั้น สำหรับเลเซอร์แบบนี้ต้องอาศัยการสะท้อนโดยใช้กระจกเงาเท่านั้น

### การประยุกต์ใช้งานทางคลินิก

การใช้งานทางคลินิกของเลเซอร์ขึ้นอยู่กับการประนีประนอมของปัจจัยต่าง ได้แก่

-ปฏิกิริยาต่อกันของเลเซอร์-เนื้อเยื่อ

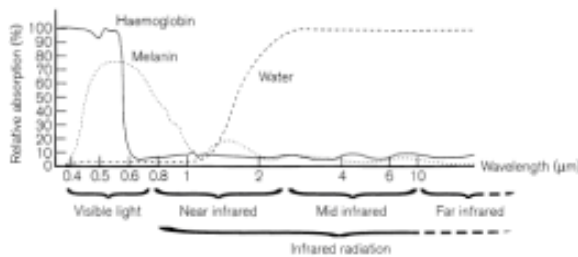
-การดูดกลืนและการทะลุของเลเซอร์ การหาได้ของเลเซอร์ที่มีค่าความยาวคลื่นและกำลังงานที่ถูกต้อง

-วิธีการส่งผ่านเลเซอร์ที่เหมาะสม

ขอบเขตของผลกระทบของเลเซอร์ต่อเนื้อเยื่อมนุษย์ โดยหลักแล้วขึ้นอยู่กับความเข้มและความถี่ของลำแสงที่เลเซอร์ใช้ ที่ความเข้มของเลเซอร์น้อย จะเกิดการกระตุ้นขึ้นภายในเซลล์ซึ่งได้ประโยชน์ในเชิงการรักษาทางศัลยกรรม เมื่อเพิ่มความเข้มของเลเซอร์ขึ้นเล็กน้อยจะเกิดการบั่นทอนกิจกรรมระดับเซลล์ขึ้น ขณะที่ความเข้มของเลเซอร์ยังคงเพิ่มขึ้นอีกถึงประมาณ  $40 \text{ Jcm}^{-2}$  ตัวรับรู้ของเนื้อเยื่อจะเริ่มถูกกระตุ้น (ข้อนี้อาจป้องกันขึ้นพื้นฐานของผิวหนังต่อรังสีอัลตราไวโอเล็ตได้โดยใช้โลชั่นกันแดดทาผิวหนัง) เมื่อความเข้มของเลเซอร์เพิ่มสูงขึ้นถึง  $400 \text{ Jcm}^{-2}$  อุณหภูมิของเนื้อเยื่อจะสูงขึ้นถึง  $60^{\circ}\text{C}$  จะมีการทำลายโปรตีนและ photocoagulation เป็นหลัก หากความเข้มแสงสูงมากขึ้นอีก จะส่งผลให้อุณหภูมิของเนื้อเยื่อสูงขึ้นถึง  $100^{\circ}\text{C}$  ทำให้เกิดการระเหยน้ำและเกิดการทำลายโครงสร้างของเซลล์ ในการควบคุมกำลังการทำลายเนื้อเยื่อเซลล์ของเลเซอร์นั้น ระบบส่วนใหญ่จะใช้การหยุดส่งพลังงานเป็นช่วงๆ ลำแสงจะถูกปล่อยมาในลักษณะเป็นกลุ่ม ทำให้เกิดการระบายความร้อนในช่วงหยุดพัก และลดปริมาณความเสียหายที่เกิดกับเนื้อเยื่อที่อยู่ข้างเคียง ค่า Q switching ของเลเซอร์ หมายถึงอุปกรณ์ที่ยินยอมให้มีการสะสมเลเซอร์ปริมาณหนึ่ง และปล่อยเลเซอร์ออกได้ในลักษณะเป็นกลุ่มแม้ว่าค่าพลังงานจะสูงขึ้น และช่วงเวลาจะมีค่าสั้นลง เทคนิคเหล่านี้ถูกใช้ในทางจักษุวิทยาเพื่อให้เกิด photoablation และลดความ

เสียหายต่อตาผู้ป่วยให้น้อยที่สุด โดยการใช้อยู่ Q switching ซึ่งช่วยลดอันตรายของเนื้อเยื่อข้างเคียง ความถี่ของการเปิดปิดก่อให้เกิดการสันสะเทือนซึ่งจัดเป็นความเสียหายทางเชิงกลข้อหลักได้

การส่องทะลุของพลังงานแสงเข้าไปยังเนื้อเยื่อร่างกายขึ้นอยู่กับค่าความยาวคลื่นของแสง แสง Far infrared และแสงอัลตราไวโอเล็ตสามารถส่องทะลุได้เล็กน้อยเนื่องจากส่วนใหญ่ถูกดูดกลืนบริเวณผิวหนังโดยน้ำในเนื้อเยื่อ แสงที่ทะลุได้ดีกว่าคือแสงช่วงปลายสเปกตรัมด้านสีแดง



รูปที่ 3 แสดงสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของเนื้อเยื่อ

จากกราฟในรูปที่ 3 แสดงสเปกตรัมของการดูดกลืนแสงของฮีโมโกลบินที่ค่าความยาวคลื่นต่างๆ พลังงานของแสงสีเขียวจะถูกดูดกลืนโดยเนื้อเยื่อที่มีสีตรงข้ามกันและถูกสะท้อนกลับโดยสารที่มีสีเหมือนกัน

พลังงานของเลเซอร์ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์ที่ค่าความยาวคลื่น 10.6  $\mu\text{m}$  ถูกดูดกลืนด้วยน้ำภายในช่วงความลึก 1 มิลลิเมตรจากผิวหนัง ก่อให้เกิดการระเหยของน้ำภายในเซลล์ วัตถุประสงค์หลักของเลเซอร์ชนิดคาร์บอนไดออกไซด์นี้เพื่อใช้ผ่าตัดแบบปราศจากเลือดและการระเหยแห้ง เลเซอร์อาร์กอนสีน้ำเงิน-เขียว (blue-green argon laser) สามารถทะลุได้ลึกประมาณ 2 มิลลิเมตร และถูกดูดกลืนมากที่สุด

ในแถบคลื่น 500 nm โดยวัตถุที่มีสีตรงข้ามข้าม (สีแดง) ได้แก่อีโมโกลบิน ดังนั้นเลเซอร์ชนิดอาร์กอนจึงถูกใช้ในการห้ามเลือดในหลอดเลือดขนาดเล็กโดยที่มีผลกระทบกับเนื้อเยื่อโปร่งใสข้างเคียงน้อยมาก ตัวอย่างเช่น เรตินา (จอรับภาพที่นัยน์ตา) เป็นต้น เลเซอร์ชนิด Nd:YAG (neodymium: yttrium-aluminium garnet) ใช้อยู่ตัวกลางเลเซอร์สถานะของแข็ง เลเซอร์ชนิดนี้สร้างลำแสงช่วง near infra-red ของแถบสเปกตรัมซึ่งมีกำลังทะลุมากที่สุด เลเซอร์ชนิดนี้จะถูกดูดกลืนหมดที่ความลึก 3-5 มิลลิเมตร โดยฮีโมโกลบิน, เมลานิน และน้ำในเนื้อเยื่อ สำหรับเลเซอร์ชนิดที่มองไม่เห็นได้ด้วยตาเปล่า (invisible light) เช่น เลเซอร์คาร์บอนไดออกไซด์ จะมีการใช้เลเซอร์ที่ตามองเห็น (เช่น เลเซอร์จากฮีเลียม:นีออน) ควบคุมกันไปด้วย เพื่อช่วยในการเล็งเป้าตำแหน่งสำหรับการรักษาด้วยเลเซอร์ให้ถูกต้องแม่นยำ ในตารางที่ 1 แสดงถึงเลเซอร์ชนิดต่างๆ ที่มีใช้ในทางการแพทย์ปัจจุบัน

ตารางที่ 1 Laser บางชนิดที่มีใช้ทางการแพทย์ในปัจจุบัน

Lasing medium	Wavelength, nm	Colour	Transmission
Krypton	476, 521, 568, 647	Blue to red	Optical fibre
Argon	488-515	Blue-green	Optical fibre
Nd-YAG-KTP	532	Green	Optical fibre
Helium-Neon	633	Red	Optical fibre
Nd-YAG	1064	Near IR	Optical fibre
CO <sub>2</sub>	10600	Far IR	Mirrors

## ข้อคำนึงด้านความปลอดภัยจากเลเซอร์

นอกเหนือจากอันตรายของพลังงานจากเลเซอร์ต่อผู้ป่วยกรณีที่ใช้งานไม่ถูกต้องแล้ว ยังมีความเสี่ยงต่อผู้ใช้งานและบุคคลอื่น ๆ ที่อยู่ในการผ่าตัดด้วย ทั้งนี้มาเนื่องจากคุณสมบัติด้านขอบเขตระยะไกลของลำแสงเลเซอร์ เนื่องมาจากความไม่ขยายใหญ่ของลำแสง ดังนั้นการเพิ่มระยะทางจากต้นกำเนิดแสงให้สูงขึ้นกลับมีผลดีเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย แตกต่างกับลำรังสีเอกซเรย์ที่ได้ประโยชน์จากการใช้แหล่งกำเนิดจากระยะไกล นอกจากนี้ ลำแสงเลเซอร์ที่มาจาก การสะท้อนอาจก่อให้เกิดอันตรายอย่างมากกับนัยน์ตาได้ แสงเลเซอร์ที่มองเห็นได้ด้วยตาเปล่าที่ส่องผ่านเข้าไปยังเรตินาอาจก่อให้เกิดความเสียหายที่ไม่สามารถจะแก้ไขได้ ก่อให้เกิดจุดบอดบนเรตินา รอยโรคแบบเดียวกันนี้หากเกิดขึ้นบริเวณเส้นประสาทตา (ตรงตำแหน่ง blind spot) อาจทำให้นัยน์ตาข้างนั้นบอดสนิทได้ เนื้อเยื่อของนัยน์ตาบริเวณอื่น ได้แก่ คอร์เนีย (cornea), เลนส์ตา (lens), น้ำในลูกนัยน์ตาส່วนหน้าเลนส์ (aqueous humours) และ น้ำในลูกนัยน์ตาส່วนหลังเลนส์ (vitreous humous) ซึ่งได้ดูดกลืนเลเซอร์ชนิด far-infra-red ไว้ทั้งแบบบางส่วนและแบบสมบูรณ์จะได้รับอันตรายมากกว่าอันตรายต่อเรตินาอีก

เลเซอร์ที่กระทบที่ผิวหนังผู้ป่วยก่อให้เกิดความรู้สึกเผาไหม้ขึ้น สำหรับผู้ป่วยที่มีสติครบจะรู้สึกว่าคุณกระตุ้นก็เกิดกลไกป้องกันตัวเองได้ (เช่น ขยับหนี) แต่ไม่สามารถเกิดกลไกป้องกันตัวเองในผู้ป่วยที่ได้รับการวางยาสลบ

อันตรายของเลเซอร์ที่มีต่อมนุษย์เป็นความสัมพันธ์ที่ซับซ้อน ระหว่างกำลังงานของเลเซอร์, ความถี่ของเลเซอร์ และเวลาที่ได้รับเลเซอร์ ได้มีการ

จำแนกชนิดของเลเซอร์เพื่อเป็นมาตรฐาน ระหว่างชาติ ดังได้แสดงในตารางที่ 2 เลเซอร์แบบ Class I จัดว่ามีความปลอดภัยตามปกติ เลเซอร์แบบ Class IV กล่าวกว้างได้ว่ามีอันตรายหากใช้งานไม่ถูกต้อง เลเซอร์ส่วนใหญ่ที่ใช้ในงานในทางการแพทย์เป็นแบบ Class IV ผู้ใช้งานเลเซอร์ทุกคนควรได้รับการฝึกอบรมการใช้งานที่ถูกต้องปลอดภัย ขอนี้รวมถึงวิสัญญีแพทย์ด้วย เนื่องจากเป็นผู้ที่ปฏิบัติงานอยู่ในระยะขอบเขตการทำงานของเลเซอร์

### ตารางที่ 2 International classification of continuously working lasers

## ความเสี่ยงภัยที่เกี่ยวข้องกับการวิสัญญี

เช่นเดียวกับอุปกรณ์ทางไฟฟ้าอื่น ๆ ที่อาจก่อให้เกิดความร้อน อุปกรณ์เลเซอร์ก็มีโอกาสก่อให้เกิดเปลวไฟได้เช่นกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสภาพสถานที่ที่มีก๊าซออกซิเจนปริมาณมาก ปัญหานี้มิได้เกิดขึ้นเฉพาะในกรณีทำการผ่าตัดช่องทางลมเท่านั้น แต่ยังเกิดขึ้นเมื่อเลเซอร์ถูกใช้โดยไม่ตั้งใจไปยังผ้าคลุมภายใต้ภาวะที่มีก๊าซออกซิเจนและก๊าซไนตรัสออกไซด์เข้มข้นสูง ดังนั้นการใช้งานเลเซอร์อย่างปลอดภัยจะต้องคำนึงถึงข้อควรระวังทั้งหมดต่อไปนี้

(1) ไม่ควรใช้สารยาสลบหรือก๊าซไนตรัสออกไซด์ ก๊าซไนตรัสออกไซด์สามารถก่อให้เกิดการระเบิดได้ดีกว่าก๊าซออกซิเจนภายใต้สถานการณ์บางอย่าง

(2) ไม่ควรใช้วัสดุหรือเครื่องมือที่มีความเงาสท้อนแสงได้ดี เนื่องจากลำแสงเลเซอร์ที่มาจากสะท้อนจะมีพลังงานไม่ต่างจากลำแสงเลเซอร์หลักจากต้นกำเนิด

(3) ความเข้มข้นของก๊าซออกซิเจนในช่วงที่มีลำแสงเลเซอร์ส่องผ่านไม่ควรมีค่าสูงเกินกว่า 25 เปอร์เซ็นต์

(4) ควรใช้ endotracheal tube ชนิดไม่ติดไฟที่ผลิตจากวัสดุพิเศษ (น่าจะเป็น synthetic latex รู้จักกันในชื่อ neoprene) ควรหลีกเลี่ยงการใช้ endotracheal tube ที่ทำจากพลาสติกจำพวก polyethylene และ PVC เนื้อเยื่อส่วนอื่นควรได้รับการป้องกันโดยคลุมด้วยผ้าเปียก โดยเฉพาะส่วนที่เป็นบอลูนที่ทำให้พิตพอดีกับหลอดลม ซึ่งเดิมจะพบบรรจุอากาศที่ถือว่าเป็นจุดอ่อน จึงควรจะใช้น้ำเกลือมาบรรจุในบอลูนแทน

(5) ควรให้บุคลากรทุกคนรวมทั้งผู้ป่วยสวมหน้ากากพิเศษที่มีเลนส์ซึ่งสามารถดูดซับลำแสง

เลเซอร์ค่าความยาวคลื่นที่ใช้งาน ทั้งนี้หน้ากากสามารถป้องกันอันตรายได้ดีกว่าการใช้แว่นตา

(6) ต้องล๊อคประตูที่สามารถผ่านไปยังบริเวณพื้นที่ที่มีการผ่าตัด รวมทั้งหน้าต่างทุกบานที่เปิดออกสู่ภายนอก พร้อมทั้งมีการปิดป้ายประกาศเตือนบุคคลภายนอกที่เห็นได้ชัด

### มาตรฐานความปลอดภัย

สหราชอาณาจักร (ประเทศอังกฤษ) ได้มีการจัดทำเอกสารคำแนะนำความปลอดภัยเกี่ยวกับเลเซอร์ โดยองค์กรอุปกรณ์การแพทย์ในปี พ.ศ. 2538 เอกสารนี้ครอบคลุมถึงบุคลากรที่เกี่ยวข้องกับเลเซอร์ทุกประเภท รวมทั้งวิธีปฏิบัติที่ถูกต้องปลอดภัย ผู้สนใจสามารถศึกษาได้จากเอกสารอ้างอิงหมายเลข 1

### บรรณานุกรม

1. The Medical Devices Agency (1995) *Guidance on the Safe Use of Lasers in Medical and Dental Practice*. London: Department of Health.
2. Ward's Anaesthetic Equipment: Fifth Edition. *Lasers*. P.479-483 Elsevier Saunders Ltd.

