

บทที่ 2

หลักและวิธีการ

2.1 บทนำ

เครื่องมือใดๆ ก็ตามที่นำมาใช้กับมนุษย์ จะต้องมีความปลอดภัยเป็นสำคัญ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้กล่าวถึงวิธีการสร้างเครื่องจี-ตัดด้วยไฟฟ้า ซึ่งเกี่ยวข้องกับมนุษย์เราโดยตรง การสร้างสัญญาณที่ใช้สำหรับการจีหรือผ่า และความถี่ที่ใช้งานมีผลต่อร่างกายอย่างไร เป็นสิ่งที่เราต้องคำนึงถึง และต้องเรียนรู้

2.2 ผลทางสรีรวิทยาของกระแสไฟฟ้า

ผลของกระแสไฟฟ้า เมื่อไหลผ่านเนื้อเยื่อ จะทำให้เกิดการเหนี่ยวนำตัวกลางชีวภาพ ทำให้เกิดผลทางไฟฟ้า ในตัวกลางนั้นมากมาย โดยผลที่เกิดขึ้นอาจเกิดขึ้นในระดับเซลล์ ระดับเนื้อเยื่อ หรือระบบของร่างกายก็ได้ ผลการตอบสนองทางสรีรวิทยาต่างๆ ต่อกระแสไฟฟ้า อาจแบ่งได้เป็นผลที่เกิดขึ้นโดยตรง และผลที่เกิดขึ้นทางอ้อม ผลที่เกิดขึ้นทางอ้อมนี้อาจเกิดขึ้นภายหลังจากผลที่เกิดขึ้นโดยตรงก็ได้ โดยทั่วไปผลที่เกิดขึ้นโดยตรง จะเกิดขึ้นบริเวณที่กระแสไหลผ่านร่างกายซึ่งส่วนใหญ่ มักเกิดที่บริเวณใต้ขั้วไฟฟ้า

2.2.1 ผลทางไฟฟ้า-ความร้อน

กระแสไฟฟ้ามีส่วนทำให้เกิดการเคลื่อนไหวยของอนุภาคประจุไฟฟ้าในตัวนำทำให้เกิดแรงสั่นสะเทือน ของอนุภาคส่งผลให้เกิดความร้อน ปริมาณของความร้อน (H) ที่เกิดขึ้นเนื่องจากกระแสไฟฟ้า (I) สามารถหาได้จากสมการ

$$H = 0.24 I^2 R t \dots\dots\dots(2.1)$$

เมื่อ (R) คือความต้านทานของมนุษย์ โดยทั่วไปจะมีค่าประมาณ 500 โอห์มและ (t) คือ เวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกาย เนื้อเยื่อและผิวหนังของร่างกาย ประกอบด้วยสารประกอบระหว่าง

ไขมันและโปรตีน ซึ่งจับเรียงตัวกันอย่างมีระเบียบ เป็นตัวต้านการไหลของกระแสไฟฟ้าซึ่งความต้านทานนี้จะแปรผกผันกับความถี่ ของกระแสไฟฟ้าตามสมการ

$$Z = \frac{1}{C(6.83f)} \dots\dots\dots (2.2)$$

Z = ความต้านทานทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับของผิวหนัง, หน่วย โอห์ม

C = ความจุของประจุไฟฟ้า

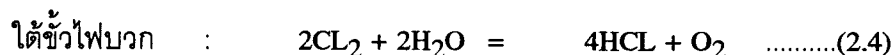
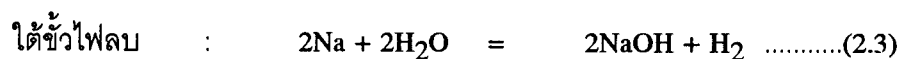
f = ความถี่ที่ใช้ในการจี้-ตัด, หน่วย เฮิรตซ์

จากสมการ 2.2 จะเห็นว่าที่ความถี่สูงขึ้น ความต้านทานของผิวหนังจะลดลง ทำให้แรงดัน และกระแสที่ไหลผ่านผิวหนังในการจี้-ตัดลดลงได้

หน่วยของปริมาณความร้อน ที่เกิดขึ้นมีหน่วยเป็น กรัม-แคลอรี ในทางปฏิบัติ ถ้าเพิ่มปริมาณ กระแสบริเวณที่มีการจี้-ตัดในบริเวณผิวหนังที่มีความต้านทานสูงและใช้เวลานานขึ้นจะเกิดความร้อน และสามารถทำให้ผิวหนังแยกออกจากกันได้

2.2.2 ผลทางไฟฟ้า-เคมี

ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดจากการจี้-ตัดด้วยไฟฟ้า จะเกิดขึ้นทั้ง ระดับเซลล์ และระดับเนื้อเยื่อ ผลทางเคมีส่วนใหญ่ มักจะเกิดขึ้นเนื่องจากผลทางกระแสไฟตรงซึ่งการไหลของกระแสเป็นไปในทิศทางเดียว ทำให้เกิดการเหนี่ยวนำไอออนเกิดเป็นสารประกอบใหม่ ซึ่งปฏิกิริยาทางเคมีที่เกิดขึ้นจะมีสมการดังนี้



จากสมการ 2.3 จะเห็นว่าที่ได้ขั้วไฟลบ จะเกิดภาวะความเป็นด่างจาก NaOH และที่ได้ขั้วไฟบวก จะเกิดความเป็นกรดจาก HYDROCHLORIC ACID (HCL) ในทางปฏิบัติปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้น ร่างกาย จะพยายามต่อต้าน การเพิ่มการไหลเวียนเฉพาะที่ เพื่อปรับความสมดุล ของความเป็น กรด-ด่าง ของเนื้อเยื่อ ถ้าปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นภายใต้ ขั้วไฟฟ้ามีค่าสูงเกินกว่าร่างกายจะปรับสภาพความสมดุลได้ ก็จะทำให้เกิดการฟอง และเป็นแผล ดังนั้นในการจี้-ตัดด้วยไฟฟ้า จึงจำเป็นต้องใช้ไฟฟ้ากระแสสลับ และอาจมีช่วงพัก ของกระแสเพื่อลดปริมาณของ กระแสลงและร่างกายสามารถปรับสมดุล ได้ดีขึ้น

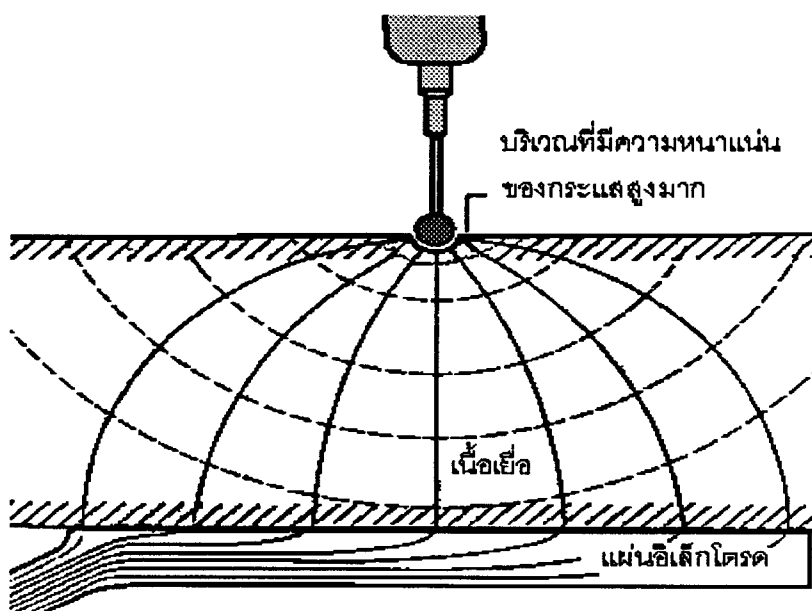
2.2.3 ผลทางไฟฟ้า-ฟิสิกส์

ประจุไฟฟ้าจากกระแสไฟฟ้า ที่เกิดจากการจี้-ตัดด้วยไฟฟ้าเป็นเหตุให้เกิดการเคลื่อนไหวของไอออนต่างๆ ของร่างกาย เช่นโปรตีน และทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงศักย์ไฟฟ้าที่เส้นประสาท และส่งผ่านกระแสประสาทจากประสาทรอบนอก ไปยังกล้ามเนื้อ ทำให้กล้ามเนื้อหดตัว

2.3 การนำสัญญาณไฟฟ้าความถี่สูง-แรงดันสูงใช้ในการจี้-ตัด

2.3.1 หลักการใช้ความถี่สูง-แรงดันสูงในการจี้-ตัด

เนื้อเยื่อ เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 100°C ของเหลวภายในเซลล์ จะกลายเป็นไอ ทำให้ เนื้อเยื่อแยกออกจากกันเมื่อเนื้อเยื่อมีอุณหภูมิต่ำกว่า 100°C ของเหลวภายในเซลล์ก็จะแข็งตัวจับ เป็นก้อน



ภาพที่ 2.1 แสดงให้เห็นถึงการกระจายความร้อนภายในเนื้อเยื่อ

จากภาพที่ 2.1 อิเล็กโตรด หรือโคมิดสำหรับการจี้-ตัด ที่มีพื้นที่หน้าตัดขนาดเล็กมาก ทำหน้าที่เป็นทางผ่านของไฟฟ้าความถี่สูง และแรงดันสูงจากเครื่องกำเนิดสัญญาณ และกระแสความถี่สูงดังกล่าว จะถูกเหนี่ยวนำผ่านตัวผู้ป่วย ไปยังแผ่นอิเล็กโตรด อีกอันหนึ่งซึ่งมี พื้นที่หน้าตัดสูงกว่า และต่อให้ครบวงจรทางไฟฟ้า ด้วยวิธีดังกล่าวนี้จะทำให้ ที่จุดได้อิเล็กโตรดสำหรับการจี้-ตัด ซึ่งเป็นบริเวณแคบๆ มีความหนาแน่นของกระแสสูงมาก (แอมแปร์ต่อ

ตารางมิลลิเมตร) จนถึงค่าหนึ่ง ที่จะทำให้เนื้อเยื่อร้อน และทำให้เกิดขบวนการ จี้-ตัด ตามมา การจี้-ตัดด้วยไฟฟ้า ความถี่สูง-แรงดันสูง โดยทั่วไปในการใช้งานจริง ไบโอมิด หรือ อิเล็กโตรดจะไม่ถูกเนื้อเยื่อ ของผู้ป่วยการใช้ความถี่สูงมีผลต่อกล้ามเนื้อของผู้ป่วยไม่ทำให้เกิด อาการเกร็งและเจ็บปวด อีกอย่างคือความต้านทานทางด้านไฟฟ้ากระแสสลับของผู้ป่วยจะลดลง ส่วนที่ต้องใช้แรงดันสูง เนื่องจากขณะทำการ จี้-ตัด เนื่องจากไบโอมิดไม่ได้ถูกเนื้อเยื่อผู้ป่วยโดยตรง แต่จะมีอากาศซึ่งเป็นฉนวนคั่นอยู่ ดังนั้นการที่จะทำให้ฉนวน หรืออากาศเปลี่ยนสภาพจาก ฉนวน เปลี่ยนเป็นตัวนำไฟฟ้า จะเกิดขึ้นได้เมื่อมีการ สปาร์ค หรือการเบรคดาวน ผ่านฉนวน นั้นเองโดยปกติสภาพนำไฟฟ้าจะมีแนวแคบๆ ตามเส้นทางที่เกิดเบรคดาวน และสภาพนำไฟฟ้า จะยังคงอยู่ได้เมื่อแรงดันนั้นสูงพอ ที่ทำให้เกิดกระแสไหลผ่านฉนวนได้ แต่สภาพของฉนวน จะเสีย ไปขณะที่มีแรงดันป้อนอยู่เท่านั้น เนื่องจากฉนวนในที่นี้ คือ ก๊าซ หรืออากาศนั่นเอง

การที่จะเกิดการอาร์ค ของไบโอมิดกับเนื้อเยื่อได้นั้น ขึ้นอยู่กับค่าความเครียดสนามไฟฟ้า สูงสุด ที่อากาศระหว่างไบโอมิด กับเนื้อเยื่อนั้นสามารถทนอยู่ได้ ซึ่งมีหน่วยเป็นค่าแรงดันต่อ ความหนาของฉนวน สำหรับการใช้งานอิเล็กโตรดที่เป็นไบโอมิดจะมีปลายที่แหลมส่วนอิเล็กโตรด อีกอัน จะมีพื้นที่สูงมีลักษณะเป็นแนวระนาบ ดังนั้นสนามไฟฟ้าที่เกิดขึ้น จะเป็นสนามไฟฟ้า ที่ไม่สม่ำเสมอสูง ดังนั้น ความเครียดสนามไฟฟ้าสูงจะอยู่ในบริเวณใกล้เคียง กับผิวอิเล็กโตรด ที่มีพื้นที่ น้อยที่สุด หรือที่ปลายมีดนั่นเอง แต่ในบางกรณี เมื่อสภาพอากาศเปลี่ยนแปลง มีความชื้นสูงขึ้น ความเครียดสนามไฟฟ้ามีค่าสูงหากยังไม่ถึงจุดวิกฤติและไม่เกิดการเบรคดาวน แต่ที่ปลายมีดอาจเกิดโคโรนาขึ้นได้ ดังนั้นในขณะที่ไม่ได้ใช้งาน ในการ จี้-ตัดไบโอมิด จะต้องถูก ควบคุมไม่ให้มีการจ่ายพลังงานไฟฟ้าแรงสูงมายังไบโอมิด

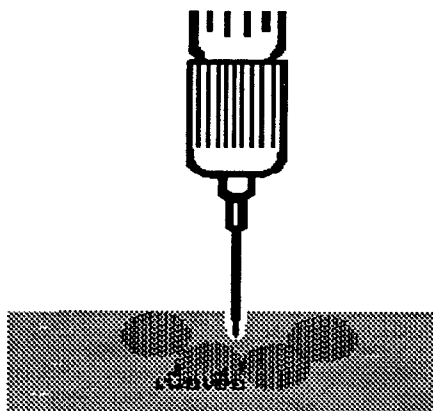
2.4 อิเล็กโตรด

อิเล็กโตรดจะทำตัวเหมือนสะพานเชื่อม ระหว่างเครื่องจี้-ตัดด้วยไฟฟ้า กับเนื้อเยื่อของ ร่างกาย ขั้วอิเล็กโตรดหรือไบโอมิด จะเป็นตัวนำ หรือถ่ายทอดสัญญาณไฟฟ้า มายังผู้ป่วยตาม แต่ลักษณะของการใช้งาน ไม่ว่าจะเป็นการจี้ หรือตัด อิเล็กโตรดจะมีสองชุดเพื่อเป็นทางผ่าน ของกระแสไฟฟ้าให้ครบวงจร วัสดุที่ใช้ทำอิเล็กโตรด สำหรับใช้ในงานจี้-ตัดด้วยไฟฟ้าจะต้องเป็น วัสดุที่มีความแข็งแรง เป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี ทนความร้อนได้สูงไม่ระเหิดง่าย และไม่เป็นสนิม สามารถทำความสะอาดได้ง่าย

อิเล็กโตรดจะมีให้เลือกใช้หลายรูปแบบเช่น ปลายเข็ม มีด ห่วง โดยส่วนใหญ่ จะมี พื้นที่หน้าตัดขนาดเล็ก การเลือกใช้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการจี้ หรือตัด

2.4.1 อิเล็กโตรดแบบเข็ม

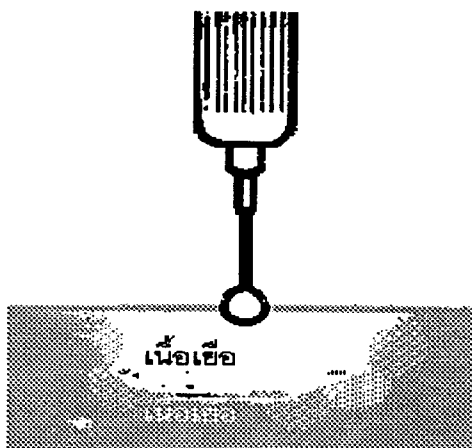
อิเล็กโตรดแบบเข็ม เป็นอิเล็กโตรดที่มีพื้นที่หน้าตัด เล็กมากเท่าที่เป็นไปได้ เหมาะสำหรับการตัดที่ราบเรียบ หลังการผ่าตัดจะไม่เกิดเป็นสะเก็ดแผลหากนำไปใช้ในการจี้ ก็จะทำให้เกิดผลเป็นพื้นที่เล็กที่สุดสามารถใช้สำหรับจี้หรือถอนขนได้



ภาพ 2.2 แสดงภาพอิเล็กโตรดแบบเข็ม

2.4.2 อิเล็กโตรดแบบกลมหรือแผ่น

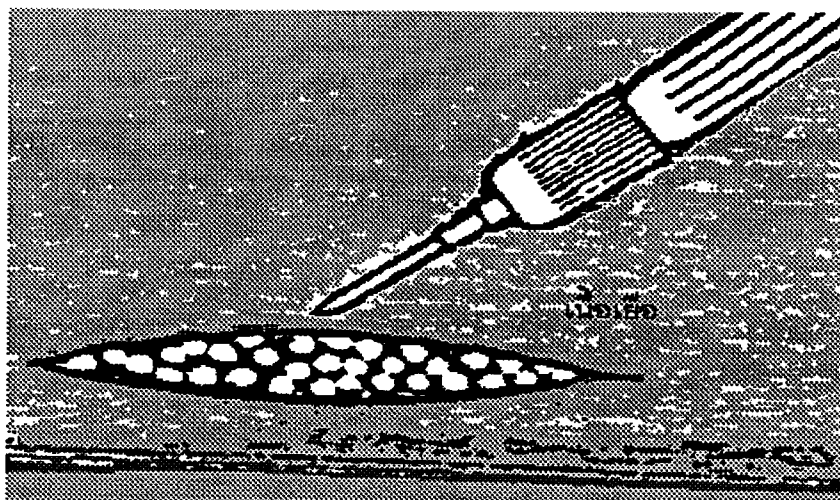
อิเล็กโตรดชนิดนี้ มีพื้นที่หน้าตัดใหญ่ ทำให้ยากต่อการตัดให้เรียบ เป็นเหตุให้เกิดสะเก็ดแผลที่มีวงหน้าของรอยตัด สำหรับการนำไปใช้จี้ การแผ่ขยายของพื้นที่จากการจี้ สามารถควบคุมได้ด้วยปริมาณ การจ่ายกำลังของเครื่อง ถ้าการส่งกำลังออกมาในปริมาณต่ำ ผลของการจี้จะเกิดขึ้นช้าๆ และแผ่ขยายออกเป็นวงกว้าง เหมาะสำหรับการใช้ในการตัดเนื้อเยื่อที่มีขนาดใหญ่



ภาพที่ 2.3 แสดงภาพอิเล็กโตรดแบบกลม

2.4.3 อิเล็กโตรดแบบไบโมีด

อิเล็กโตรดแบบไบโมีดมีความเหมาะสมที่สุดสำหรับการตัด เนื้อเยื่อที่มีไขมันมาก และต้องใช้แรงดันสูงด้วย



ภาพที่ 2.4 แสดงภาพอิเล็กโตรดแบบไบโมีด

2.5 วิธีการจี้-ตัดด้วยไฟฟ้า

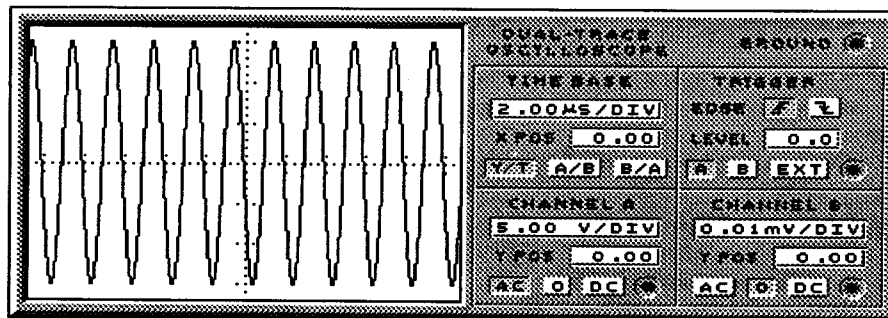
2.5.1 การใช้งานแบบโมนิโพลาร์

การใช้งานแบบโมนิโพลาร์ สำหรับการตัด คือการใช้อิเล็กโตรดเพียงขั้วเดียว สำหรับการผ่าตัดตรงตำแหน่งเนื้อเยื่อที่ต้องการ ส่วนอิเล็กโตรดอีกอันหนึ่งนั้นจะมีพื้นที่มาก และ จะวางในตำแหน่งที่ห่างออกไป และต้องมีบริเวณมากพอเช่น บริเวณแผ่นหลัง หรือต้นขาของผู้ป่วย แต่การวางตำแหน่งไม่ควรให้กระแสไหลผ่านส่วนสำคัญของร่างกายเช่น หัวใจ หากต้องการผ่าตัด ตรงส่วนของร่างกายที่มีพื้นที่ขนาดเล็กๆ ควรใช้การผ่าตัดแบบไบโพลาร์เพื่อหลีกเลี่ยงการผ่าใน บริเวณที่ไม่ต้องการ

2.5.1.1 การผ่าตัดแบบโมนิโพลาร์

สัญญาณที่ใช้สำหรับการผ่าตัด จะเป็นสัญญาณรูปขายนที่มีความถี่ ไม่ต่ำกว่า 500 กิโลเฮิร์ตซ์ ลักษณะสัญญาณ เป็นสัญญาณต่อเนื่องสามารถปรับระดับปริมาณ กำลังที่ออกมา เพื่อให้เหมาะสมกับการผ่า ตามความเหมาะสมของตำแหน่งที่ต้องการผ่าตัด เนื่องจากบริเวณผิวหนังของคนเรา จะมีความต้านทานที่ไม่เท่ากันส่วนระดับแรงดันที่ใช้จะมีค่า

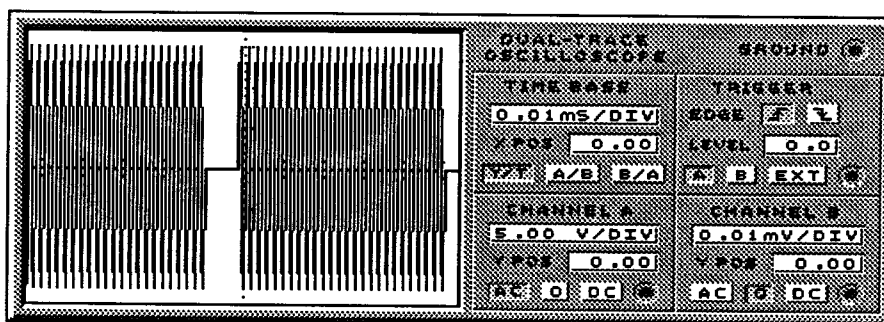
อยู่ระหว่าง 1,500-2,500 V_{p-p}



ภาพที่ 2.5 แสดงภาพของสัญญาณที่ใช้สำหรับการผ่าตัด

2.5.1.2 การผ่าตัดพร้อมการห้ามเลือด

สัญญาณที่ใช้สำหรับการตัดพร้อมการห้ามเลือด จะเป็นสัญญาณรูปซายน์ ที่มีความถี่ไม่ต่ำกว่า 500 กิโลเฮิร์ตซ์ สัญญาณที่ใช้สามารถปรับช่องกว้างของสัญญาณได้ตั้งแต่ 14-47 ไมโครวินาทีและมีช่องว่าง 40-50 ไมโครวินาทีแรงดันทางเอาต์พุตสามารถปรับค่าได้ตั้งแต่ 2,400-3,500 V_{p-p} สำหรับค่าช่องกว้างและช่องว่างของสัญญาณนั้นอาจเปลี่ยนแปลงหรือยืดหยุ่นได้ เนื่องจากการผ่าตัด และการจี้ จะอาศัยกำลังไฟฟ้าเฉลี่ยที่ออกมาจากช่องกว้างของสัญญาณ มีน้อยอาจต้องใช้แรงดันที่สูงขึ้น

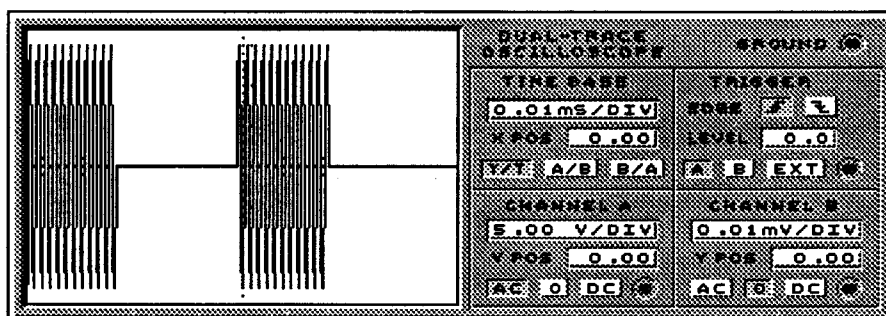


ภาพที่ 2.6 แสดงภาพของสัญญาณไฟฟ้าที่ใช้สำหรับการผ่าตัดพร้อมห้ามเลือด

2.5.1.3 การจี้ห้ามเลือดเฉพาะจุด

สัญญาณที่ใช้สำหรับการจี้ห้ามเลือดเฉพาะจุด จะเป็นสัญญาณคลื่นรูปซายน์

ความถี่ไม่ต่ำกว่า 500 กิโลเฮิร์ตซ์ ช่องกว้างของสัญญาณมีค่าเท่ากับ 7 ไมโครวินาที ช่องว่าง 50 ไมโครวินาที ปรับระดับแรงดันได้ระหว่าง 3,000 ถึง 3,500 V_{p-p} การจี้ ห้ามเลือดในทางศัลยกรรม ด้วยไฟฟ้าโดยทั่วไปมีขอบเขตกว้างมาก และการใช้อิเล็กโตรด มีให้เลือกเหมาะกับงาน การจี้ที่ต้องการให้เกิดผลเป็นพื้นที่ที่เล็กที่สุด จะต้องใช้อิเล็กโตรด ชนิดเข็มที่มีขนาดเล็กๆ เป็นต้น



ภาพที่ 2.7 แสดงภาพสัญญาณทางไฟฟ้าของการจี้ห้ามเลือดเฉพาะจุด

2.6.1 การใช้งานแบบไบโพลาร์

เพื่อให้ศัลยแพทย์ สามารถจี้ตัดในพื้นที่เล็กๆ ที่มีเส้นเลือดละเอียดอ่อนได้ โดยไม่ทำลาย และเป็นอันตรายต่อเนื้อเยื่อหรือเส้นประสาทข้างเคียง ดังนั้นการผ่าตัด หรือการจี้ โดย ใช้เทคนิคไบโพลาร์ จึงเหมาะสำหรับการทำจุลศัลยกรรม และศัลยกรรมด้านประสาท เช่น การผ่าตัดมือ และเส้นเลือด การใช้งานแบบไบโพลาร์ อิเล็กโตรดที่ใช้จะไม่มีอิเล็กโตรดที่มีพื้นที่มาก เหมือนแบบโมโนโพลาร์ แต่อิเล็กโตรดจะมีรูปร่างและขนาด ใกล้เคียงกัน และวางในตำแหน่ง ใกล้เคียงกัน

2.6.1.1 การผ่าตัดแบบไบโพลาร์

สัญญาณผ่าตัดแบบ ไบโพลาร์ จะมีรูปคลื่นทางเอาต์พุตเป็นคลื่นรูป ซายน์ ความถี่ไม่ต่ำกว่า 500 กิโลเฮิร์ตซ์ แรงดันที่ใช้ในการผ่าตัดอยู่ในช่วง 2,000-2,500 V_{p-p}

2.6.1.2 การจี้ห้ามเลือดแบบไบโพลาร์

สัญญาณการจี้แบบไบโพลาร์ จะมีรูปคลื่นทางเอาต์พุตเป็น คลื่นรูป ซายน์ ความถี่ไม่ต่ำกว่า 500 กิโลเฮิร์ตซ์ แรงดันสูงสุดสำหรับการใช้งาน ประมาณ 1,500 V_{p-p}