บทความฟื้นวิชา

Electrical Injuries : Principle and Management
(การบาดเจ็บจากกระแสไฟฟ้า : หลักการและการรักษา)

ชัยรัตน์ บุรุษพัฒน์
แผนกศัลยกรรมตกแต่งและเสริมสร้าง กองศัลยกรรม โรงพยาบาลพระมงกุฎเกล้า

อุบัติเหตุจากกระแสไฟฟ้าพบได้โดยทั่วไป รายงานของ Ore และ Cassini[1] ในปี 1996 พบว่ามีอัตราการเสียชีวิตจากกระแสไฟฟ้าประมาณ 2.7 ต่อ 100,000 คนทำงานในแต่ละปี ถึงแม้ว่าเปอร์เซ็นต์ของผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาเป็นผู้ป่วยในใน**หอผู้ป่วยไฟไหม้น้ำร้อน**ลวกจะน้อยเมื่อเทียบกับอุบัติเหตุไฟไหม้จากอย่างอื่น แต่พบว่ามีอัตราการเสียชีวิตที่สูงและในผู้ที่รอดชีวิตก็มีอัตราการสูญเสียอวัยวะหรือทุพพลภาพสูง Hussman และคณะ[2] รายงานว่ามีอุบัติเหตุจากกระแสไฟฟ้าใน**หอผู้ป่วยไฟไหม้น้ำร้อนลวกที่ร้อยละ 6.5 แต่พบว่า**มีอัตราการสูญเสียอวัยวะของแขนขาที่ร้อยละ 45- 71 และมีอัตราการสูญเสียการทำงานของระบบประสาทในระยะยาว ถึง ร้อยละ 73 พบว่ามีเพียงร้อยละ 5.3 ของผู้ป่วยที่ได้รับอุบัติเหตุจากกระแสไฟฟ้าแรงสูงที่สามารถกลับไปทำงานได้ อันตรายจากกระแสไฟฟ้าสามารถทำให้เกิดแผลไฟไหม้ได้ทั้งแบบ **flash burn, flame burn,** contact burn หรือหลายๆ อย่างร่วมกัน

พยาธิสรีรวิทยา

อันตรายจากกระแสไฟฟ้าจะมีผลต่อทั้งเนื้อเยื่อเกี่ยวพัน เส้นเลือด กล้ามเนื้อรวมถึงเส้นประสาทได้ ได้มีการแบ่งชนิดของกระแสไฟฟ้าเป็น 2 ชนิด คือ

1. Low-voltage injuries (การบาดเจ็บจากกระแสไฟฟ้าน้อยกว่า 1,000 volt) ส่วนใหญ่มักเกิดจากอุบัติเหตุภายในบ้านโดยทั่วไปจากกระแสไฟฟ้า 120-220 v , 60 - cycle current มักมีผลทำให้เกิดผิวหนังไหม้หรืออันตรายต่อ soft tissue ข้างใต้ได้
2. High-voltage injuries (การบาดเจ็บจากกระแสไฟฟ้ามากกว่า 1,000 volt) ทำให้เกิดทั้งผิวหนังไหม้ร่วมกับทำลาย soft tissue ข้างใต้ เกิด soft tissue coagulation, rhabdomyolysis รวมถึง **การสูญเสียการทำงานของระบบ**ประสาทและเส้นประสาทโดยส่วนใหญ่มักเป็นอุบัติเหตุที่เกิดขึ้นในโรงงาน

การเสียชีวิตจากกระแสไฟฟ้าใน low voltage มักเกิดจาก ventricular fibrillation โดยเฉพาะใน ไฟฟ้ากระแสสลับ ในขณะที่การเสียชีวิตใน high voltage มักเกิดจากการหยุดการหายใจจาก tetanic contraction ของกล้ามเนื้อที่ใช้ในการหายใจหรือมีการทำลายต่อ respiratory center ในสมอง

ในเรื่องของขนาดของกระแสไฟฟ้าพบว่ากระแสไฟฟ้า 8 - 12 milliamperes (mA) ก็สามารถทำให้เกิด การหดตัวของกล้ามเนื้อได้ ซึ่งก็เพียงพอที่ทำให้ไม่สามารถปล่อยมือออกจากการจับวัตถุที่มีกระแสไฟฟ้านั้นผ่านได้ กระแสไฟฟ้า 25 mA สามารถทำให้เกิด ventribular fibrillation และหัวใจหยุดทำงานได้ กระแสไฟฟ้า 100 mA สามารถผ่านสมอง และทำให้เกิดหมดสติได้ กระแสไฟฟ้า 200 -– 1,200 mA สามารถทำให้เกิด convulsion และกด respiratory และ circulatory center ในสมองได้[3]

กลไกในการทำให้เกิดการทำลายของเนื้อเยื่อของกระแสไฟฟ้ามีความสลับซับซ้อน อย่างไรก็ตามพบว่ามี 2 กลไกที่สำคัญคือ 1.กระแสไฟฟ้าเป็นตัวทำให้เกิดความร้อน (current- generated heat) ซึ่งทำให้เกิด thermal burn และ 2. กระแสไฟฟ้ามีผลโดยตรงทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของ cell (direct electric force denaturation of cell membrane protein and lipid)

ในกลไกที่ 1 ซึ่งการที่กระแสไฟฟ้าผ่านร่างกายแล้วทำให้เกิดการทำลายโดยการเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าให้เป็นพลังงานความร้อน เรียกปรากฏการณ์นี้ว่า Joule effect โดยใช้กฎของโอมห์ (Ohm's law) คือ $I = V/R$ และมีการเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อนโดย $J = I^2RT$

โดย J = Joule effect I = amount of current
R = resistance T = time of contact
V= voltage

ดังนั้นจะเห็นว่าการเกิดพลังงานความร้อนจากกระแสไฟฟ้ามีปัจจัยหลายอย่างได้แก่ ปริมาณกระแสไฟฟ้า ระยะเวลาในการสัมผัส ชนิดของกระแสไฟฟ้าและความต้านทานของเนื้อเยื่อ Ten Dias[4] กล่าวว่าปริมาณความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าที่เท่ากันใน extremity ขึ้นกับความต้านทานรวมถึงระยะเวลาในการสัมผัส และความต้านทานนี้ยังเป็นสัดส่วนผกผันกับขนาดเส้นผ่า

ศูนย์กลางของ extremity นั้นด้วย กล่าวคือในบริเวณที่เส้นผ่าศูนย์กลางเล็กเช่นแขน ในปริมาณกระแสไฟฟ้าที่เท่ากัน การเกิดความร้อนจะสูงกว่าในตำแหน่งที่มีกล้ามเนื้อมากๆ หรือมีเส้นผ่าศูนย์กลางที่ใหญ่กว่า

ความต้านทานของเนื้อเยื่อต่อกระแสไฟฟ้าในร่างกายแต่ละชนิดจะแตกต่างกันไปโดยพบว่าความต้านทานจะเรียงลำดับจากมากไปน้อย ได้แก่ Bone, cartilage, tendon, skin, muscle, blood vessel และ nerve Sances และ Mykel[5] พบว่าถึงแม้เส้นประสาทและเส้นเลือดจะเป็นตัวนำกระแสไฟฟ้าที่ดี แต่กล้ามเนื้อมีเปอร์เซ็นต์ของการนำกระแสไฟฟ้าที่สูงกว่าเนื่องจากการมีพื้นที่ของผิวหน้าตัดมากกว่า (cross - sectional area) กระดูกมีความต้านทานสูงที่สุดซึ่งมีผลในการใช้เวลานานในการปล่อยความร้อนออกมา จึงเป็นเหตุผลว่าทำไมอุณหภูมิจึงสูงที่สุดที่กล้ามเนื้อที่อยู่ชิดกับกระดูก

ความหนาและความชื้นของผิวหนังก็มีผลต่อความต้านทาน โดยพบว่าใน ผิวหนังที่แห้งจะมีความต้านทานสูงกว่าในผิวหนังที่เปียกประมาณ 100 - 1,000 เท่า เพราะฉะนั้นในผิวที่เปียกจะมีโอกาสที่กระแสไฟฟ้าวิ่งผ่านร่างกายได้ง่ายกว่าและเพิ่มความเสี่ยงต่อการทำลายอวัยวะภายในมากกว่า

ผลโดยตรงของกระแสไฟฟ้าต่อ cell membrane จะทำให้ผนัง cell เกิดรู (pores) ขนาดใหญ่ขึ้นซึ่งรูเหล่า นี้ทำให้เกิด ion leakage สูญเสีย cell membrane permeability เกิดการเคลื่อนออกของ metabolite ต่างๆ ใน cell รวมถึงทำให้เกิด denaturation ของ protein ที่ผนัง cell ด้วยเรียกว่า electroporation

ถึงแม้ความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าจะมีบทบาทสำคัญในการเกิดอันตรายจากกระแสไฟฟ้า Lee และคณ[6,7] พบว่า cell membrane rupture ของกล้ามเนื้อและเส้นประสาทจาก electroporation เป็นบทบาทสำคัญโดยสังเกตุได้จากการที่มีระดับของ arachidonic acid ที่สูงขึ้นและจากการที่ปล่อย myoglobin ที่มากขึ้น ซึ่งเป็นตัวบ่งบอกถึงการมี intracellular damage

ดังนั้นจะเห็นว่าในภาวะที่เกิดการทำลายจากกระแสไฟฟ้าจะเกิดการทำลายได้จากพลังงานของกระแสไฟฟ้าที่กระทำต่อ cell และเกิดพลังงานความร้อนจาก Joule effect แล้วเนื้อเยื่อของร่างกายจะถูกทำลายจากไฟไหม้ได้ในภาวะ Electrical burn แบ่งได้เป็น 2 ชนิด คือ

1. **Arch injury**

   เกิดจากการกระโดดข้ามของกระแสไฟฟ้าโดยตัวนำประจุไฟฟ้า (particles) ซึ่งอาจเป็นอากาศ ในกรณีนี้ยืนอยู่ใกล้ๆ โดยไม่ได้สัมผัสโดยตรง หรือเกิดจากน้ำใน joint โดยตัวนำประจุนี้จะมีพลังงานไฟฟ้าที่สูง ทำให้ปริมาณไฟฟ้า (voltage) ลดลงอย่างรวดเร็ว และกระแสไฟฟ้านี้จะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานความร้อน ทำให้เกิดการบาดเจ็บจากความร้อนได้

2. **Thermoelectrical burn**

   เกิดจากการสัมผัสโดยตรงกับวัตถุที่มีกระแสไฟฟ้าทำให้เกิดไฟไหม้ของผิวหนังได้

มีความแตกต่างอย่างมากในการเกิดการบาดเจ็บระหว่างไฟฟ้ากระแสสลับ (AC) และไฟฟ้ากระแสตรง (DC) กระแสไฟฟ้าสลับจะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลง polarity ของ cell ทำให้เกิด depolarization ทำให้มีการหลั่ง acethylcholine มากขึ้นบริเวณ neuromuscular junction เป็นผลให้เกิด tetanic spasm ของกล้ามเนื้อ[8] นอกจากนี้กระแสไฟฟ้ายังทำให้เกิด spasm ของผนังเส้นเลือดทำให้เกิด ischemia ของอวัยวะส่วนปลายได้

ที่หัวใจกระแสไฟฟ้าจะมีผลโดยตรงต่อเนื้อเยื่อหัวใจหรืออาจทำให้เกิด conduction abnormality ได้โดยพบว่า conduction tissue จะ sensitive ต่อไฟฟ้ากระแสสลับมากกว่าไฟฟ้ากระแสตรง ไฟฟ้ากระแสสลับที่ใช้ตามบ้านจะสามารถชักนำให้เกิด ventricular fibrillation ได้ และพบว่าในระดับความร้อนที่เท่ากันไฟฟ้ากระแสสลับจะมีผลโดยตรงต่อเนื้อเยื่อได้มากกว่าไฟฟ้ากระแสตรง

ไฟฟ้ากระแสตรงสามารถทำให้เกิด asystole ได้จาก uniform depolarization ของ left ventricle พบว่าบางครั้ง cardiac automaticity สามารถ restore กลับมาได้เองหลังจาก asystole อย่างไรก็ตามการเกิด respiratory arrest และ hypoxic cardiac arrest ยังอาจเกิดขึ้นอยู่

ทิศทางของกระแสไฟฟ้าที่ผ่านร่างกายก็มีผลสำคัญในการกำหนดความรุนแรง กระแสไฟฟ้าที่ผ่านทรวงอกเช่น hand to hand pathway ก็มีผลต่อชีวิตจาก respiratory และ cardiac arrest มากกว่า[9] กระแสไฟฟ้าที่ผ่านร่างกายอาจทำให้เกิดการบาดเจ็บต่อกล้ามเนื้อหัวใจจากผลโดยตรงของกระแสไฟฟ้าและจาก coronary vasospasm ได้[10-12]

ผู้ป่วยอุบัติเหตุจากกระแสไฟฟ้าสามารถมาด้วย ventricular fibrillation, ventricular asystole, conduction system disturbance, transient myocardial ischemia, myocardial damage การเกิด Cardiac arrest อาจมาจาก primary ventricular fibrillation หรือ secondary จาก prolonged respiratory

center arrest หรือ muscle paralysis ได้ กระแสไฟฟ้าสามารถทำให้เกิด conduction system dysfunction ทั้งใน sinoatrial หรือ atrioventricular node

Myocardial infarction สามารถเกิดได้จากการที่มี coronary spasm เนื่องจากในผู้ป่วยเหล่านี้มักพบว่ามี angiogram ที่ปกติ[13] แต่มีการแสดงด้วยการเพิ่มขึ้นของ cardiac enzyme และ wall motion abnormality การตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจอาจแสดง ST-segment elevations QT-prolongation เกิด Q-wave พบว่าเคยมีรายงานถึง valve injury ที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าได้[14]

การรักษา

การรักษาผู้ป่วยที่ได้รับอุบัติเหตุจากกระแสไฟฟ้า ยังคงยึดหลักการรักษาตาม Advanced Trauma Life Support (ATLS) อยู่ซึ่งจะไม่กล่าวถึงในที่นี้ ประวัติที่สำคัญที่ควรได้ได้แก่สถานที่และสภาพแวดล้อมที่เกิดอุบัติเหตุvoltage ของกระแสไฟฟ้า การสูญเสียระดับความรู้สึกตัว การมีอุบัติเหตุอย่างอื่นร่วมด้วยหรือไม่ เช่นการตกจากที่สูงและที่สำคัญคือ การมี cardiac หรือ respiratory arrest เกิดขึ้นในช่วงแรกหรือไม่

ในการประเมินผู้ป่วยต้องรวมทั้งการตรวจร่างกายโดยละเอียด การประเมินเปอร์เซ็นต์ของไฟไหม้ผิวหนัง การตรวจการทำงานของระบบประสาทและเส้นเลือดโดยเฉพาะในแขน ขาข้างที่ได้รับอุบัติเหตุ ผู้ป่วยทุกคนควรได้รับการตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ห้องฉุกเฉิน ในผู้ป่วย low-voltage ที่ไม่มีประวัติหมดสติและตรวจไม่มีการเต้นของหัวใจผิดปรกติสามารถให้การรักษาแบบผู้ป่วยนอกได้ โดยอธิบายให้ผู้ป่วยและญาติเข้าใจ รวมถึงนัดติดตามการรักษา ยกเว้นในรายที่เป็นเด็กที่ได้รับอุบัติเหตุบริเวณริมฝีปากจากการกัดสายไฟ ควรต้องได้รับการรักษาไว้ในโรงพยาบาลเพื่อระวังการมีเลือดออกจาก labial artery ได้ในภายหลัง

ผู้ป่วย high-voltage ควรได้รับการ monitorคลื่นไฟฟ้าหัวใจใน 24 ชั่วโมงแรก ในการรักษาผู้ป่วยที่ได้รับ บาดเจ็บจากกระแสไฟฟ้าไม่มีสูตรที่เฉพาะสำหรับการให้สารน้ำ แต่เป้าหมายหลักของการให้สารน้ำนั้นเพื่อให้ได้ปริมาณปัสสาวะมากกว่า 30 มล.ต่อชั่วโมงในผู้ป่วยรายที่มีผิวหนังไหม้ปริมาณมาก การให้สารน้ำสามารถใช้สูตรของ Parkland ที่ใช้ในผู้ป่วยไฟไหม้น้ำร้อนลวกโดยทั่วไปได้คือ 4 มล. คูณ %burn คูณ น้ำหนักตัวเป็นกิโลกรัมมาคำนวณได้ แต่ต้องดูปริมาณปัสสาวะต่อชั่วโมงเป็นหลัก

ถ้าผู้ป่วยมี myoglobinuria การให้สารน้ำต้องทำเพื่อให้ได้ปริมาณปัสสาวะอย่างน้อย 100 มล.ต่อชั่วโมงหรือจนปัสสาวะใส ถ้ายังมี myoglobinuria อยู่ทั้งๆ ที่ได้สารน้ำเต็มที่แล้วก็ควรพิจารณาให้ mannitol ต่อไป (25 กรัมตามด้วย 12.5 กรัม ทุก 2-4 ชั่วโมงทางเส้นเลือดดำ)

สิ่งที่ต้องเฝ้าระวังอีกอย่างคือการหมั่นตรวจการทำงานของระบบประสาทและเส้นเลือดเพื่อดูว่ามีความจำเป็นในการทำ fasciotomy หรือ compartment release หรือไม่ โดยระยะเวลาในการเฝ้าระวังคือ ตั้งแต่ได้รับอุบัติเหตุจนถึง 3-5 วันหลังได้รับอุบัติเหตุ ผู้ป่วยที่ได้รับอุบัติเหตุจากกระแสไฟฟ้าในบริเวณช่องท้องจะต้องได้รับการตรวจโดยละเอียดและมีการประเมิน sign หน้าท้องเป็นระยะ เนื่องจากกระแสไฟฟ้าอาจทำให้เกิดการทะลุของผนังลำไส้ได้โดยที่ยังไม่มีอาการในวันแรก

ผู้ป่วยที่มีแผลไฟไหม้บริเวณผิวหนังก็ควรได้รับการดูแลแผลตามลักษณะของแผลไฟไหม้โดยทั่วไปทั้งโดยการประเมินความลึกของแผลและเปอร์เซ็นต์ของแผลรวมถึงพิจารณาผ่าตัด debridement, escharectomy หรือ tangential excision เมื่อผู้ป่วย stable

เนื่องจากเป็น low metabolic rate พบว่าผู้ป่วยที่รอดชีวิตจากภาวะหัวใจหยุดเต้นในการบาดเจ็บจากกระแสไฟฟ้าจะดีกว่าจากสาเหตุอื่น[15] และในการช่วยฟื้นคืนชีพควรจะพยายามทำให้นานกว่าการช่วยฟื้นคืนชีพโดยทั่วไป[16]

ผู้ป่วยที่ถูกฟ้าผ่าที่ไม่เกิดการหยุดการทำงานของหัวใจจะมีโอกาสที่ดีเนื่องจากการเกิดการหยุดการทำงานของหัวใจในภายหลังพบไม่บ่อย ดังนั้นในกรณีที่มีผู้ป่วยจากการถูกฟ้าผ่าหลายคนในเวลาเดียวกัน ลำดับความสำคัญในการช่วยเหลือจะตรงข้ามกับปกตินั่นคือ ให้การช่วยเหลือผู้ป่วยที่มีการหยุดการทำงานของหัวใจหรือหายใจก่อน ผู้ป่วยที่มีสัญญาณชีพกลับ คืนมาหลังจากการช่วยฟื้นคืนชีพมักมีอัตรารอดชีวิตที่สูง[15,17-18]

หลังจากการช่วยฟื้นคืนชีพผู้ป่วยควรได้รับการเฝ้าติดตามการทำงานของหัวใจ ผู้ป่วยอาจเกิดภาวะหัวใจเต้นเร็วและความดันโลหิตสูงจาก catecholamine ที่เพิ่มขึ้นได้ ซึ่งในบางกรณีอาจต้องได้รับยากลุ่ม beta blockerร่วมด้วย การตรวจ serial cardiac enzyme และคลื่นไฟฟ้าหัวใจจะช่วยประเมินภาวะการบาดเจ็บของกล้ามเนื้อหัวใจได้ การรักษาภาวะกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดจะเหมือนกับการรักษาภาวะกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดจากสาเหตุอื่น[19]คลื่นไฟฟ้าหัวใจที่ผิดปกติมักจะดีขึ้นใน 2-3 สัปดาห์[20] ผู้ป่วยส่วนใหญ่ที่มี ventricular dysfunction มักจะดีขึ้น[21,22] และมีการพยากรณ์โรคที่ดีแต่ควรได้รับการตรวจเป็นระยะอย่างน้อย 1 ปี[23]

ผู้ป่วย high voltage ทุกคนควรได้รับการตรวจทางระบบประสาทอย่างละเอียดทั้งเมื่อแรกรับและก่อนกลับบ้านรวมถึงการตรวจตาโดยจักษุแพทย์ เพื่อเป็น base line เนื่องจากอาจเกิด cataract ได้ พบว่าการเกิดcataract หลังจากอุบัติเหตุจากกระแสไฟฟ้ามีประมาณร้อยละ 1-8[24,25] พยาธิสรีรวิทยาในการเกิด cataract ยังไม่เป็นที่แน่ชัด[26] cataractสามารถเกิดได้โดยไม่มีการบาดเจ็บที่บริเวณศรีษะและเกิดภายหลังอุบัติเหตุไม่กี่สัปดาห์จนถึงเป็นปี Saffle และคณะ[27] รายงานถึงการเกิด cataract ในตาทั้ง 2 ข้างที่สูงและไม่พบความสัมพันธ์กับความแรงของกระแสไฟฟ้าหรือตำแหน่งของ contact point

นอกจากนี้ยังมีผลเสียระยะยาวที่อาจเกิดขึ้นได้อีกเช่น heterotopic ossification, neuroma, phantom limb pain การเกิด heterotopic ossification เกิดจากการที่มีการสะสมของแคลเซี่ยมในบริเวณเนื้อเยื่อรอบๆ ข้อโดยเฉพาะข้อขนาดใหญ่เช่นข้อศอกโดยมีสาเหตุได้แก่ การ forced passive mobilization, secondary articular bleeding, การสะสมของแคลเซี่ยมในเนื้อเยื่อหรือกล้ามเนื้อที่ได้รับบาดเจ็บ[26]

Heterotopic ossification สามารถเกิดได้ใน stump ของ long bone ได้ โดยพบถึงร้อยละ 80 ของผู้ป่วยที่ได้รับการ amputation และมักเป็นสาเหตุให้เกิด bone cyst ในบริเวณ amputation stump ทำให้เกิด secondary skin erosion, inflammation และ difficult adjustment of prosthesis

ในแง่ของผลเสียระยะยาวอื่นที่อาจเกิดในผู้ป่วยที่ได้รับอุบัติเหตุจากกระแสไฟฟ้าได้เช่น **การสูญเสียการทำงานของระบบประสาท** ทั้งระบบประสาทส่วนกลางและส่วนปลายโดยอาจเกิดขึ้นได้ภายในสัปดาห์หรือเป็นปีหลังอุบัติเหตุ การเกิด **การสูญเสียการทำงาน** ของระบบประสาทที่พบได้ เช่น paresis, paralysis, Guillain-Barre' syndrome, transverse myelitis, amyotrophic lateral sclerosis[28] ในระบบประสาทส่วนปลายที่ผิดปกติที่พบได้บ่อยได้แก่ peripheral neuropathy โดยพบว่าการทำงานของเส้นประสาท motor มักจะถูกทำลายมากกว่า sensation และเกิด spasticity บ่อยกว่า flaccidity ถึงแม้กลไกการเกิดการบาดเจ็บของเส้นประสาทยังไม่สามารถอธิบายได้แน่นอน แต่เชื่อว่าเกิดจากทั้งการบาดเจ็บโดยตรงจากกระแสไฟฟ้าและเกิดจากการขาดเลือดจากภาวะ vascular thrombosis ได้ ในบางครั้งพบว่าสามารถเกิด sympathetic overactivity ได้ ทำให้เกิด bowel habit change, urinary and sexual dysfunction รวมทั้งเกิดความผิดปกติเกี่ยวกับทางด้านจิตใจได้บ่อย

สรุป

จะเห็นได้ว่าอันตรายที่เกิดจากกระแสไฟฟ้ามีผลกระทบต่อผู้ป่วยมากทั้งในระยะสั้นและระยะยาวรวมถึงทั้งทางด้านร่างกายและจิตใจ เนื่องจากผู้ป่วยส่วนใหญ่จะไม่สามารถรักษาให้กลับคืนมาเหมือนเดิมได้ร้อยเปอร์เซ็นต์ ดั้งนั้นการรักษาผู้ป่วยที่ได้รับอุบัติเหตุจากกระแสไฟฟ้าควรได้รับการดูแลอย่างเต็มที่และจากแพทย์เจ้าหน้าที่หลายๆ แผนกร่วมกัน

เอกสารอ้างอิง

1. *Ore T, Cassini V. Electrical fatalities among U.S. construction workers. J Occup Environ Med 1996;38:587-92.*
2. *Hussmann J, Kucan JO, Russell RC, Bradley T, Zamboni WA. Electrical injuries:morbidity,outcome and treatment rational. Burns. 1995;21:530-5.*
3. *Robert L McCauley and Juan P Barret. Electrical Injuries. In: Bahman Guyuron, eds. PLASTIC SURGERY: Indications, Operations and Outcomes Vol. 5. St. Louis: Mosby Inc. 2000:375-85.*
4. *Ten Dias HJ. Acute electrical burn. Semin Neurol 1995,15:381-6.*
5. *Sances A, Mykel Bust JB. Experimental electrical injury studie. J Trauma 1981;21:589.*
6. *Lee RC, Kolodney MS. Electrical injury mechanisms : dynamics of the thermal response. Plast Reconstr Surg 1987;80:663-71.*
7. *Lee RC, Gzylor DC, Brett D, Israel DA. Role of cell membrane rupture in the pathogenesis of electrical trauma. J Surg Res 1998;44:709-19.*
8. *Samir R Kapadia and Eric J Topol. Cardiac trauma. In: Eric J Topol eds. Textbook of Cardiovascular Medicine. 3rd ed. Philadelphia: Lippincott William & Wilkins. 2007:698-709.*
9. *Thompson JC, Ashwal S. Electrical injuries in children. Am J Dis Child 1983;137:231-5.*
10. *Chandra NC, Siu CO, Munster AM. Clinical predictors of myocardial damage after high voltage electrical injury. Crit Care Med 1990;18:293-7.*
11. *Ku CS, Lin SL ,Hsu TL, Wang SP, Chang MS. Myocardial damage associated with electrical injury. Am Heart J 1989;118:621-4.*
12. *Xenopoulos N, Movahed A, Hudson P, Reeves WC. Myocardial injury in electrocution. Am Heart J 1991;122:1481-4.*
13. *James TN, Riddick L, Embry JH. Cardiac abnormalities demonstrated postmortem in four cases of accidental electrocution and their potential significance relative to nonfatal electrical injuries of the heart. Am Heart J 1990;120:143-57.*

14. *Guler N, Ozkara C, Tuncer M, Guntekin U, Kocabas S. Aortic valve rupture due to high voltage electrical injury:case report. J Heart Valve Dis 2004;13:857-9.*
15. *Taussing HB. "Death" from lightening and the possibility of living again. Am Sci 1969;57:306-16.*
16. *Andrew L Smith and Wendy M Book. Effect of Noncardiac Drugs, Electricity, Poison and Radiation on the Heart. In : Valentin Fuster, et al, eds: Hurst's The Heart. 12th ed. New York : McGraw Hill, Inc., 2008:2132-42.*
17. *Cooper MA. Lightening injuries: prognostic signs for death. Ann Emerg Med 1980;9:134-8.*
18. *Cooper MA. Lightening injuries. Emerg Med Clin North Am 1983;1:639-41.*
19. *Kirchmer JT Jr, Larson DL, Tyson KR. Cardiac rupture following electrical injury. J Trauma 1977;17:389-91.*
20. *Kleiner JP, Wilkin JH. Cardiac effects of lightening stroke. JAMA 1978;240:2757-9.*
21. *McGill MP, Kamp TJ, Rahko PS. High-voltage injury resulting in permanent right heart dysfunction. Chest 1999;115:586-7.*
22. *Homma S, Gillam LD, Weyman AE. Echocardiographic observations in survivors of acute electrical injury. Chest 1990;97:103-5.*
23. *Carleton SC. Cardiac problews associated with electrical injury. Cardiol Clin 1995;13:263-6.*
24. *Boozalis GT, Purdue GF, Hunt JL, McCulley JP. Ocular change from electrical burn injuries:a literature review and report of cases. J Burn Care Rehabil 1991;12:458-62.*
25. *Solem L, Fisher R, Strate R. The natural history of electrical injury. J Trauma 1977;17:487-92.*
26. *Gary F Purdue, Brett D Arnoldo, and John L Hunt. Electrical injuries. In: David N Herndon, eds: Total Burn Care, 3rd ed. Philadelphia: SAUNDERS ELSEVIER. 2007:513-29.*
27. *Saffle JR, Crandall A, Warden GD. Cataracts: a long- term complication of electrical injury. J Trauma 1985;25:17-21.*
28. *Petty PG, Parkin G. Electrical injury to the central nervous system. Neurosurgery 1986;19:282-4.*