# ELECTRICAL SHOCK (อันตรายจากไฟฟ้าดูด)

**ชัยยะ เสถบุตร**

*รพ. สมเด็จพระสังฆราชองค์ที่ 17*

## ประวัติความเป็นมา

ตั้งแต่มีการค้นพบไฟฟ้าแล้วมีการนำมาใช้ในบ้านเรือนและวงการอุตสาหกรรมมากขึ้น สาเหตุการตายจากอุบัติเหตุไฟฟ้าดูด (Electrical shock) พบบ่อยขึ้นตามลำดับ ในแต่ละปีจะมีผู้ป่วยที่ถูกไฟฟ้าดูดประมาณ 1,100 ราย ซึ่งมีอุบัติการเท่ากับ 6/1,000,000 ประชากรในสหรัฐอเมริกา ซึ่งร้อยละ 7[1] ของผู้ป่วยเหล่านี้จะต้องนอนโรงพยาบาลเพื่อรับการรักษา Burn ซึ่งเป็นผลทุติยภูมิจากไฟฟ้าดูด ส่วนทั่วโลกจะมีผู้ถูกไฟฟ้าดูดจนต้องนอนโรงพยาบาลในหน่วย Burn units 100,000 ราย/ปี และร้อยละ 3[2,3] ของผู้ป่วยเหล่านี้มักมีการบาดเจ็บ (Injury) ร่วมด้วย ซึ่งร้อยละ 40 ของผู้ป่วยที่ได้รับบาดเจ็บนี้จะเสียชีวิต ดังนั้นการบาดเจ็บอย่างรุนแรงจากไฟฟ้าดูดจนต้องนอนโรงพยาบาลนั้นถึงแม้จะพบได้น้อย แต่จะมีการพยากรณ์โรคไม่ดี (Bad prognosis) การกระจายตัวของอายุผู้ป่วยนั้นมี 2 ช่วงอายุคือ เด็กน้อยกว่า 6 ปี และกลุ่มที่อยู่ในวัยทำงานโดยเฉพาะพวกทำงานก่อสร้าง[3] หลายปีที่ผ่านมาอันตรายจากการถูกไฟฟ้าดูดยังเป็นความลับอยู่ในหลายด้าน ความรุนแรงต่าง ๆ กัน บางรายไม่ตายแต่ทำให้ต้องเสียแขนหรือขาเกิดทุพลภาพได้ ซึ่งเป็นการสูญเสียทางเศรษฐกิจทั้งในระดับครอบครัวและระดับประเทศ และยังต้องสูญเสียค่ารักษาไปอีกเป็นจำนวนมาก ปัจจุบันเรายังขาดความรู้ถึงกลไกที่แน่นอนและธรรมชาติที่สลับซับซ้อนที่เป็นตัวทำลายเนื้อเยื่อของร่างกายเวลาถูกไฟฟ้าดูด และยังไม่มีวิธีป้องกันรวมถึงการรักษาผลแทรกซ้อนที่เกิดขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพ[4]

จึงมีการศึกษาพยาธิสรีระ (Pathophysiology) กลไกการเกิด (Mechanism) และสาเหตุการตายมากขึ้น ทุกวันนี้ได้มีวิธีการป้องกันที่มีความปลอดภัยสูงขึ้น สามารถลดอัตราความชุกของการบาดเจ็บจากไฟฟ้าได้ แต่ไม่สามารถลดอัตราการต้องตัดแขนขาลงได้ ซึ่งยังมีความชุกสูงถึงร้อยละ 45 และ 71[4,5] จากการศึกษาของ Lee[6] สาเหตุตายที่พบบ่อยที่สุดคือ Multiple organ failure และ Cardiac arrest หลังจากเกิด Arrhythmias และภาวะแทรกซ้อนที่สำคัญอื่น ๆ อีก เช่น ภาวะติดเชื้อ ซึ่งเกิดจากการตายของเนื้อเยื่อต่าง ๆ ในร่างกาย ซึ่งอันตรายจากไฟฟ้าดูดเป็นภาวะที่น่าจะได้รับการรักษาเบื้องต้นได้โดยการเตรียมทีมปฏิบัติการกู้ชีวิตที่มีประสิทธิภาพ หรือเน้นให้ความรู้กับประชาชนในการช่วยเหลือปฐมพยาบาลเบื้องต้นให้มากขึ้น และโดยเฉพาะความระมัดระวังและป้องกันอย่างเคร่งครัด

ต่อไปนี้จะขอกล่าวถึงรายละเอียดของผลการศึกษาทั้งในเรื่องกลไกการเกิดการบาดเจ็บ อวัยวะต่าง ๆ ที่ได้รับอันตรายจากไฟฟ้าดูด แนวทางการรักษาต่าง ๆ ที่ควรจะให้ความสำคัญ การรักษาเบื้องต้นให้เกิดประสิทธิภาพ ผลการรักษาที่ดี พยายามให้เกิดภาวะแทรกซ้อน หรือการบาดเจ็บน้อยที่สุดเพื่อไม่ให้เกิดภาวะทุพลภาพ เพราะอุบัติเหตุมักเกิดกับผู้ที่อยู่ในวัยเด็กเล็ก และวัยทำงานที่ต้องเลี้ยงดูครอบครัว ซึ่งเป็นวัยที่เป็นกำลังสำคัญยิ่งต่อการพัฒนาประเทศ โดยมีหัวข้อเรียงลำดับดังนี้คือ

### พยาธิสรีรวิทยา (Patho-physiology of Electrical shock)

*พยาธิวิทยา Electrical Burns, Electrical burns*

*กลไกการเกิด burns*

*Physics of injury กลไกการได้รับบาดเจ็บจากไฟฟ้าดูด (Mechanisms of injury)*

การรักษา

*หลักการรักษาทั่วไป การให้สารน้ำ การดูแลบาดแผล*

การบาดเจ็บต่ออวัยวะต่าง ๆ ที่สำคัญจากไฟฟ้าดูด

*Soft tissue injury, Muscle infury, Vascular injury*

*Injuries to the nervous system*

*Cerebral injury, Acute spinal cord and peripheral nerve injuries, Keraunoparalysis and reflex sympathetic dystrophy, Late neurologic disorder*

*Heart, การติดเชื้อของแผลและ Sepsis, Visceral infury, Eye injury*

## พยาธิสรีรวิทยา (Patho-physiology of Electrical shock)

การบาดเจ็บของเนื้อเยื่อที่เป็นผลจากการสัมผัสกับอุณหภูมิที่สูงเกินระดับปกติของร่างกายอย่างมากที่เกิดจากไฟฟ้าดูด จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหลายอย่างในร่างกาย เช่น การเปลี่ยนสภาพของโมเลกุลใหญ่ (Macromolecule denaturation) การสลายตัวของผนังเซลล์ การเปลี่ยนแปลงระบบการทำงานภายในเซลล์ เป็นที่ทราบกันดีว่าความมากน้อยของการบาดเจ็บจากความร้อนนั้นขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและระยะเวลาของการสัมผัสความร้อน ปัจจัยทั้งสองอย่างจะมีผลระหว่างกันทำให้เกิดการทำอันตรายต่อเซลล์ในด้านของ Kinetics และเกิดความร้อนต่อเซลล์ ซึ่งเป็นหลักสำคัญที่กำหนดขอบเขตและชนิดของการบาดเจ็บต่อเซลล์ระดับโมเลกุล[7]

เมื่อกระแสไฟไหลผ่านร่างกาย Epidermal layer จะทำตัวเป็นความต้านทานของกระแสไฟฟ้า ซึ่งผิวหนังส่วนใหญ่ของร่างกายจะมี Epidermis บางมากเพียง 100-500 micron จะมีการเชื่อมกันของ Squamous epithelial cell ที่ปกปิดผิวร่างกาย ทำหน้าที่เป็นฉนวนปิดกั้นไว้ชั้นหนึ่ง สภาพความต้านทานนี้ยังขึ้นอยู่กับภาวะความชุ่มชื้นของผิวหนังด้วยที่จะเปลี่ยนแปลงความต้านทานของผิวหนัง โดย 1 ตร.ซม. ของ Epidermis อาจจะมีความต้านทานสูงถึง 50,000-500,000 โอห์ม ที่ฝ่ามือและฝ่าเท้า มีผิวหนังที่หนามากกว่า 2-3 เท่าจึงมีความต้านทานสูงกว่า 2-3 เท่า ด้วย[2,6,7]

Kouwenhoven[7] เสนอว่า ในทางปฏิบัติเมื่อใดที่เราต้องสัมผัสกับไฟฟ้าสูงกว่า 200 volts ผิวหนังจะหมดสภาพการมีความต้านทานดังกล่าว ไฟฟ้าจะเข้าสู่ร่างกายได้แต่ยังมีความต้านทานภายในของร่างกายอยู่ โดยจากมือข้างหนึ่งไปยังเท้าข้างหนึ่งจะมีความต้านทานประมาณ 1,000 โอห์ม ความต้านทานของร่างกายจากมือสองข้างไปที่เท้าสองข้างจะลดลงเหลือประมาณ 500 โอห์ม ผู้ป่วยส่วนใหญ่ที่ถูกไฟฟ้าดูดแหล่งไฟฟ้ามักจะมีความต่างศักย์ประมาณ 1-10 kV ซึ่งเทียบเท่ากับกระแสไฟฟ้าระหว่าง 1-10 แอมป์ ที่ทำอันตรายต่อร่างกาย[7,8]

### พยาธิวิทยา

โดยทั่วไปพยาธิวิทยาของการบาดเจ็บของกระแสไฟขึ้นกับแหล่งกระแสไฟ เช่น Voltage ปริมาณของกระแสไฟ (Quantity of current) ที่ผ่านเนื้อเยื่อ ชนิดของกระแสไฟ[9] ผลความร้อนในเนื้อเยื่อจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกำลังสองของความเข้มของกระแสไฟ) ความต้านทาน และระยะเวลาที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านตามสมการ

***Electrothermal heat*** = $I^2 R t$ (I = กระแสไฟฟ้า, R = ความต้านทาน และ t = เวลาที่ไฟฟ้าวิ่งผ่าน)

โดยเราแบ่งชนิดของการบาดเจ็บจากไฟฟ้าออกเป็นสองชนิดคือ ***Low-voltage*** (< 1,000 volt) และ ***High-voltage*** (> 1,000 volt) injury เพราะอุบัติเหตุชนิด High-voltage เป็นที่ยอมรับว่าเกี่ยวข้องกับ burn ที่รุนแรง และเนื้อเยื่อมีการตายแบบ Coagulation necrosis

มากกว่า[4,5,9]

เนื้อเยื่อที่ถูกทำลายและอวัยวะที่ถูกรบกวนด้วยไฟฟ้าโดยทั่วไปแล้วสามารถคาดได้ว่าจะเกิดขึ้นตามทางที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านไป ระหว่างจุดที่เข้าและจุดที่ออก ผิวหนังจะมีความต้านทานสูงที่สุด (ปกติผิวหนังจะเป็นตัวแปรไม่คงที่) แต่จะเปลี่ยนแปลงตามความหนาและความชุ่มชื้นของผิวหนังด้วย[2,6,7] ผิวหนังที่เปียกจะเกิดสัดส่วนของกระแสไฟที่ไหลผ่านเข้าร่างกายได้มากขึ้นและจึงทำให้เพิ่มความเสี่ยงของการทำลายอวัยวะภายในมากขึ้นด้วย

อุณหภูมิของเนื้อเยื่อสูงขึ้นเมื่อมีการผลิตความร้อนจากกระแสไฟฟ้าที่ไหลเข้าร่างกายมากขึ้นและส่งระบายออกมาสู่ภายนอกได้ การนำพาความร้อนจะเกิดขึ้นด้วยน้ำเลือดที่ไหลผ่านไป หากมีการเพิ่มอุณหภูมิร่างกายสูงกว่า 50 องศาเซลเซียสจะมีการทำลายเนื้อเยื่อที่ไม่สามารถฟื้นคืนกลับสู่สภาพเดิมได้ และหากยิ่งมีอุณหภูมิสูงขึ้นอีกจะมีผลทำให้เกิด Coagulation necrosis และในที่สุดเกิดเนื้อตายชนิด Charring[1,2,9]

ความต้านทานจะมี**สัดส่วนตรงข้ามกับเส้นผ่านศูนย์กลาง**เนื้อเยื่อ ดังนั้นที่ตำแหน่งที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดเล็ก เช่น ข้อต่าง ๆ (ข้อมือและข้อศอก) จะเกิดความร้อนสูงกว่าตำแหน่งที่มีกล้ามเนื้อใหญ่และเนื้อมากกว่า (เช่น Proximal forearms) การผลิตความร้อนที่แขนขาเองเกิดขึ้นในวิธีแบบต่าง ๆ กัน อุณหภูมิของเนื้อเยื่อที่สูงที่สุด (ซึ่งหมายถึงจะมีการตายของเนื้อเยื่อมากขึ้นด้วย) จะพบได้ในบริเวณกล้ามเนื้อที่ใกล้เคียงกับกระดูก ข้อ ดังนั้น Periosteum จะถูกทำลายด้วย ปกติเนื้อเยื่อที่ยิ่งห่างจากส่วนกลางออกไปการถูกทำลายจะน้อยลงไปเรื่อย ๆ เนื่องจากความร้อนที่เกิดจากกระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะค่อย ๆ มีความร้อนลดน้อยลงตามลำดับ เพราะมีการถ่ายเทความร้อนออกไปสู่สิ่งแวดล้อมได้ดีกว่าส่วนที่อยู่ตรงกลาง

ผลอื่น ๆ ของการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากความร้อนของไฟฟ้าที่ไหลผ่าน คือเมื่อกล้ามเนื้อถูกทำลายด้วยความร้อน จะปล่อยสารที่เกิดจากการแตกของเซลล์เข้าสู่กระแสเลือด เช่น ผลผลิตของ Heme คือ myoglobin เป็นสารสำคัญที่สุดของสารเหล่านี้ที่ปล่อยออกมา เพราะเป็นสาเหตุทำให้เกิด acute renal insufficiency การมีมาตรการ Resuscitation ที่เข้มงวดและรัดกุม รวมถึงการทำ Fasciotomy การเอาเนื้อเยื่อตายออก การให้สารน้ำชดเชยอย่างมาก และการให้ยาขับปัสสาวะ มาตรการเหล่านี้สามารถป้องกันภาวะแทรกซ้อนอื่น ๆ ได้[1,6,9]

### Electrical Burns

ความร้อนที่เกิดขึ้นจากไฟฟ้าทำให้เกิด Burns ต่อร่างกายและผิวหนังได้ เราสามารถแบ่งชนิดของ Burns จากไฟฟ้าออกได้เป็นสามระดับโดยขึ้นกับความลึกคือ[1,2,9]

1. First degree - บวมที่ชั้นผิวชั้นบน
2. Second degree - Partial thickness burns : superficial dermal layers ถูกทำลายและมีตุ่มน้ำใสเกิดขึ้น ; ประสาทรับความรู้สึกยังดีอยู่
3. Third degree - full-thickness burns, necrosis of all skin layers ; สูญเสียประสาทรับความรู้สึก

## Electrical burns จากไฟฟ้าดูดสามารถแบ่งตามกลไกการเกิด burns ออกได้เป็นสี่ชนิดคือ

1. Electrothermal burns : Entry/Exit burns
2. Splash and Arc
3. Contact burns
4. Keraunographic markings

### Electrothermal burns

Electrothermal burns[1,9] คือ ความร้อนที่เกิดจากการสัมผัสโดยตรงกับตัวนำกระแสไฟฟ้า ซึ่งเกิดโดยกระแสไฟที่ไหลผ่านผิวหนังและมีผลทำให้เกิดความร้อน

Electrothermal burns ที่รุนแรงจะเกิดเมื่อผู้ป่วยจับตัวนำไฟฟ้าที่เป็น High-voltage และไม่สามารถสะบัดหนีจากตัวนำไฟฟ้าได้ ทำให้มีกระแสไฟไหลผ่านร่างกายยาวนานขึ้นและเกิดความร้อนสูงขึ้น ไม่เพียงแต่ที่จุดเข้า

ของไฟฟ้า แต่รวมถึงเนื้อเยื่อรอบ ๆ ข้อด้วย เช่น ข้อมือ ข้อศอก ความร้อนของ High-voltage มีผลทำให้มีการทำลายของ soft tissue อย่างมากและแม้กระทั่งทำลายกระดูก ในอุบัติเหตุ Low- และ High-voltage หรือในฟ้าผ่า สามารถจะพบ Electrothermal burns ที่จุดออกของไฟฟ้า (Ground) ได้

การตรวจพบทางคลินิก แผลผิวหนังจะกินลึกเพียงบางส่วนหรือตลอดความหนาของผิวหนังจะไหม้ บางครั้งอาจพบ Charring ได้ โดยทั่วไปแล้วบริเวณที่เกิด Electrothermal burns จะมีเกิดขึ้นเฉพาะผิวหนังเท่านั้น (BSA-body surface area) และผิวหนังที่บาดเจ็บจะมีขอบเขตแยกออกจากผิวหนังรอบ ๆ โดยจะมีผิวสีเทาดำให้เห็น

**Splash and Arc**

Arcing[9] เกิดเมื่อกระแสไฟวิ่งจากตัวนำตัวหนึ่งไปยังตัวนำอีกตัวหนึ่งโดยไม่มีการติดต่อกันโดยตรง กระแสไฟจะกระโดดข้ามผ่านอากาศไป กระแสไฟที่กระโดดข้ามจากโลหะตัวนำไปยังอีกตัวนำหนึ่ง หากใกล้กับคนจะทำให้เกิดการกระโดดมายังคนและเกิดการเผาไหม้เนื่องจากความร้อนจากกระแสไฟที่กระโดดมายังคน ความร้อนโดยการ Arcing จะสูงถึง 3,000-20,000 องศาเซลเซียส

ดังนั้นไฟฟ้าดูด จะทำให้เกิดความร้อนได้ทั้งสองอย่างโดยไม่มีการสัมผัสโดยตรงกับตัวนำเลยก็ได้ เมื่อร่างกายเข้าใกล้กระแสไฟฟ้าแรงสูงจะเกิดการ Arc ได้ การกระโดดไฟฟ้าผ่านอากาศ จะเกิดได้กับไฟฟ้า 30,000 volt ต่อเซนติเมตร (75,000 volt/inch) แต่การกระโดดของไฟฟ้าผ่านอากาศก็ยังขึ้นกับสภาวะแวดล้อม เช่น ภูมิอากาศ พื้นผิววัตถุ ความชื้นของอากาศระหว่างที่เกิดการกระโดด เมื่อเกิดการ Arc เริ่มเกิดขึ้นแล้ว จะอาศัยไฟฟ้าแค่เพียง 20 volt/cm (50 volt/inch) ก็เพียงพอที่จะประคับประคองให้ arc เกิดต่อเนื่องขึ้นได้

Arcing พบได้บ่อยที่สุดของ Electrical burns ในอุบัติเหตุฟ้าผ่า เมื่อผู้ป่วยได้รับบาดเจ็บโดยอยู่ใกล้ตัวนำไฟฟ้ามากระยะหนึ่งจนอากาศถูกประจุไฟฟ้ากระโดดเข้าชน การเกิด Arcing ของอากาศส่วนใหญ่จะเกิดในอุบัติเหตุไฟฟ้าดูดแบบ Low- หรือ High-voltage เหมือนฟ้าผ่าได้ โดยกระแสไฟจะกระจายเข้าสู่ผิวหนังผู้ป่วยเป็นบริเวณกว้าง (Explosion) ซึ่งทำให้เกิดการ burns ของผิวหนังแบบ Partial-thickness burns

บริเวณที่ถูกทำอันตรายด้วย Arc burns ในอุบัติเหตุ Low-voltage ปกติจะพบได้น้อยกว่าร้อยละ 5 ของ Body Surface Area ในขณะที่ High-voltage จะพบได้มากกว่าร้อยละ 20 และมักพบร่วมกับการผสมของ Electrothermal burns (กระแสวิ่งเข้าร่างกายแล้วเกิดความร้อน) และ Flame burns (เสื้อผ้าที่สวมใส่เกิดไฟไหม้จากกระแสไฟหรือฟ้าผ่า) ในผู้ถูกฟ้าผ่าแล้วเกิด arc burns จะมีส่วนที่ถูกเผาไหม้น้อยกว่าการเกิดอุบัติเหตุกระแสไฟฟ้าแรงสูง (High voltage) เพราะฟ้าผ่ามีระยะเวลาที่ถูกกระแสไฟฟ้าทำอันตรายสั้นมากเพียง 0.001 วินาทีเท่านั้น

สิ่งที่น่าสนใจเป็นพิเศษคือกระบวนการเกิด Metal evaporation อุณหภูมิใน electric arc นั้นสูงมากจนกระทั่งมันสามารถทำให้เนื้อโลหะของตัวนำไฟฟ้าเดือดเป็นไอ (Evaporized)[9] ได้อย่างรวดเร็ว และในอุบัติเหตุฟ้าผ่ามันสามารถทำให้โลหะตัวนำที่บาง ๆ กลายเป็นไอเข้าในตัวผู้ป่วย นั่นคือเหตุผลว่าทำไมผู้ป่วยเหล่านี้จึงมักจะมี Black coating บนมือและหน้า (เนื่องจากโลหะที่ละลายได้กลั่นตัวติดบนผิวหนัง)

**Contact burns**

เมื่อเปรียบเทียบกับ Electrothermal burns อย่างเดียว Contact burns แทบจะพบได้เฉพาะในผู้ป่วยอุบัติเหตุฟ้าผ่าเท่านั้น เพราะ Con tact burns เป็นผลของการที่ไฟฟ้าภายนอกที่วิ่งผ่านอากาศมากระทบ (Flash-over) วัสดุโลหะที่สวมใส่ติดกับผิวหนังโดยตรง เช่น แหวน, Bracelets, Necklaces, Watches ปริมาณของพลังงานที่ถูกดูดซับโดยวัสดุโลหะและวัสดุโลหะนั้นปล่อย

ความร้อนที่เกิดขึ้นออกมาทำให้เกิด Full thickness burn ขนาดของ Burn จะใหญ่เท่า ๆ กับผิวของวัสดุที่เกิดความร้อนขึ้น

**Keraunographic markings**

เป็นลักษณะที่ตรวจพบเฉพาะ (Pathognomonic) ในอุบัติเหตุฟ้าผ่า ลักษณะคล้ายต้นไม้หรือใบเฟิร์นที่ผิวหนัง (Arborescent) กระจายออกจากจุดศูนย์กลาง แต่ไม่ใช่เป็นการที่ถูกเผาไหม้จริง มีแนวโน้มที่จะปรากฏภายใน 1 ชม. และจะหายไปใน 24 ชม. โดยไม่ทิ้งร่องรอยไว้เลย ขนาดของบาดแผลจะมีขนาดตั้งแต่ 5-30 ซม. บางรายจะมีรอยกระจายออกไปทั่วร่างกาย จะมีสีแดงสดเมื่อเทียบกับสีผิวหนัง ลักษณะเหมือนใบเฟิร์นนี้เรียกว่า Lichtenberg figures เชื่อว่าเกิดจากมีประจุไฟฟ้าบวกค้างอยู่ในเนื้อเยื่อบริเวณนั้นมากจึงพยายามดึงประจุไฟฟ้าลบจากเซลล์ผิวหนังรอบข้างเข้ามา[9,10]

เมื่อเทียบกับร่องรอยที่ผิวหนังอีกแบบหนึ่งจะเป็นแบบดอกไม้ (Flowerlike keraunographic markings) คล้ายกับหยดน้ำที่ออกจากฝักบัว คำอธิบายของลักษณะรูปร่างยังเป็นที่สงสัยกันอยู่ บางคนอธิบายว่าอาจจะมีประจุลบค้างอยู่ในเนื้อเยื่อมากซึ่งเกี่ยวข้องกับ Splash burns และเกิดการผลักดันประจุไฟฟ้าให้กระจายข้ามมาที่ผิวหนัง

**Physics of injury**

ถึงแม้พยาธิสรีรวิทยาที่แน่นอนของไฟฟ้าดูดยังไม่เป็นที่เข้าใจดี แต่ก็เชื่อว่ามีปัจจัยหลายอย่างที่มีผลต่อระดับความรุนแรงของการบาดเจ็บจากไฟฟ้าดูด เช่น การบาดเจ็บจากไฟฟ้าแรงสูง (High-voltage injuries) ซึ่งมักทำให้เกิดความร้อนและผลการศึกษาทางเนื้อเยื่อ (Histologic) จะแสดงให้เห็นว่ามี Coagulation necrosis จากความร้อนเป็นส่วนใหญ่ Lee[6] และคณะได้เสนอทฤษฎีของ Electroporation ในรายที่ถูกกระแสไฟฟ้าดูดจนกระทั่งทำให้เกิดการทำลายด้วยความร้อนทำให้การเปลี่ยนแปลงองค์ประกอบของโปรตีนในเซลล์ไปจนทำให้ความแข็งแกร่งของผนังเซลล์และหน้าที่เสียไป บางคนเชื่อว่าอาจจะมีผลจากสนามแม่เหล็กต่อเนื้อเยื่อ ปัจจัยที่กำหนดธรรมชาติและความรุนแรงของการบาดเจ็บต่อร่างกายใน High-voltage มีดังตารางที่ 1[11]

การบาดเจ็บจากไฟฟ้าดูดอาจจะเกิดจากองค์ประกอบทุกตัวรวมกันก็ได้ในคนคนหนึ่ง แต่องค์ประกอบหลักที่มีผลมากคือ **ระยะเวลาและความต่างศักย์** จะเป็นตัวกำหนดขอบเขต ความลึก ความรุนแรงของการถูกทำลาย ดังนั้นการรักษาจะต้องมีความเข้าใจถึงตัวแปรพื้นฐานที่มีส่วนดังกล่าวคือ[2,9,10,11]

**Type of circuit**

High-voltage ชนิดกระแสตรง (Direct current-D.C.) จะทำให้เกิดการหดรัดตัวกล้ามเนื้อครั้งเดียว และทำให้ผู้ป่วยกระเด็นจากแหล่งไฟ ผลทำให้มีการดูดในช่วงเวลาสั้น ๆ แต่จะเพิ่มความเสี่ยงต่อ Blunt injury มากขึ้น

กระแสไฟสลับ (Alternating current-A.C.) จะมีความรุนแรงและอันตรายเป็นสามเท่าของกระแสตรงที่แรงดันไฟฟ้าขนาดเดียวกัน เพราะเกิดการหดรัดตัวกล้ามเนื้ออย่างต่อเนื่อง หรือ Tetany ทำให้มีการหดรัดตัว 40-110 ครั้งต่อวินาที Tetany จะเกิดได้แม้ในกระแสไฟต่ำ ๆ (low amperages.)[1,11]

มือเป็นส่วนของร่างกายที่เป็นจุดสัมผัสไฟฟ้าได้บ่อยที่สุด ถึงแม้กล้ามเนื้อทั้งหมดของแขนอาจจะเกิดการหดรัดตัวแบบ Tetany เมื่อโดนไฟฟ้าที่ดูด แต่ธรรมชาติแล้วกล้ามเนื้อ Flexor ของมือและ Forearm จะมีความแข็งแรงกว่าส่วน Extensor ดังนั้นมือจึงยังคงจับแหล่งไฟฟ้าอยู่ กระแสไฟฟ้าที่สูงกว่าระดับ Let-go threshold (6-9 mAmp) จะมีผลทำให้ผู้ป่วยไม่สามารถจะปล่อยตัวเองออกจากแหล่งไฟได้ดังใจ จึงทำให้เกิดการสัมผัสไฟฟ้านานขึ้นกว่าปกติ และเกิดการบาดเจ็บที่มากขึ้น

**Resistance**

ความต้านทาน[1,11] คือแนวโน้มของวัตถุที่จะต่อต้าน

การไหลของกระแสไฟและมีความจำเพาะกับเนื้อเยื่อแต่ละแห่ง ขึ้นอยู่กับความชุ่มชื้น อุณหภูมิ และคุณสมบัติทางกายภาพ ยิ่งมีความต้านทานสูง (R) ของเนื้อเยื่อต่อการไหลของกระแสไฟ ก็จะยิ่งมีการเปลี่ยนแปลงเป็นพลังงานไฟฟ้า (I) ไปเป็นความร้อน (P) ณ ที่กระแสขนาดหนึ่ง โดยมีสมการของ Joule's law : คือ $P = I^2 \times R$

เส้นประสาทจะเป็นตัวขนส่งสัญญาณไฟฟ้า ส่วนกล้ามเนื้อและเส้นเลือดจะเป็นตัวนำไฟฟ้าที่ดี (เพราะมีสารละลายเกลือแร่และน้ำอยู่มาก) ส่วนกระดูก เส้นเอ็นและไขมันจะมีความต้านทานสูง (ดังตารางที่ 2) จึงมีแนวโน้มที่จะมีความร้อนเกิดขึ้นและ Coagulate มากกว่าที่จะยอมให้กระแสไฟฟ้าไหลผ่าน เนื้อเยื่ออื่น ๆ ของร่างกายจะมีความต้านทานระหว่างกลาง (ดังตารางที่ 2) ผิวหนังจะเป็นตัวต้านทานตัวแรก ๆ ที่ต้านการไหลของกระแสเข้าสู่ร่างกาย (ตารางที่ 3) ยิ่งพลังงานยิ่งมากอาจจะสามารถทะลุทะลวงผิวหนังไปได้ ทำให้เกิดผิวหนังไหม้ ได้ความร้อนที่ทำลายผู้ป่วยจะแปรตามโดยตรงกับระดับความต่างศักย์ ซึ่งความร้อนอาจจะเกิดได้ถึง 2,500-4,000 องศาเซลเซียส Voltage ที่สูงมากจะทำให้กระแสไฟกระโดด (Arcing) เข้าผู้ป่วยได้ ซึ่งในบรรยากาศปกติ อาจกระโดดไปได้ไกลถึง 3 เมตร ผิวหนังจะมีความต้านทานที่เปลี่ยนแปลงได้มากที่สุด ผิวแห้งอาจจะเกิดความต้านทานได้ถึง 1 megaohm (1 ล้านโอห์ม) เหงื่อสามารถลดความต้านทานของผิวหนังลงมาถึง 2,500-3,000 โอห์ม ร่างกายที่อยู่ในน้ำสามารถลดความต้านทานลงมาได้ถึง 1,200-1,500 โอห์ม และจะปล่อยให้พลังงานไหลผ่านร่างกายไปง่ายขึ้น จนเกิดหัวใจหยุดเต้น และทำอันตรายต่ออวัยวะภายในโดยไม่มีการไหม้ที่ผิวหนังให้เห็นก็ได้[1,4,9]

**Duration**

โดยทั่วไป ระยะเวลาที่สัมผัสไฟยิ่งนานกับไฟแรงสูงก็ยิ่งมีการทำลายเนื้อเยื่อมากขึ้น ถึงแม้จะมีไฟฟ้าที่แรงสูงกว่าและกระแสสูง เช่น ฟ้าผ่า แต่เนื่องจากโดนในระยะเวลาที่สั้นมาก ๆ จึงมักไม่มีการไหม้ของผิวหนังให้เห็นหรือมีก็เป็นบริเวณเล็ก ๆ เท่านั้น

**Current**

กระแสไฟ มีหน่วยและขนาดเป็นแอมป์ เป็นการวัดขนาดของจำนวนพลังงานที่ไหลผ่านวัตถุ (ดังตารางที่ 4) มีช่วงของความปลอดภัยที่แคบมากระหว่างระดับที่เริ่มรู้สึกของกระแส (0.2-0.4 mA) จนถึงระดับ Let-go current threshold (6-9 mA) Thoracic tetany สามารถเกิดขึ้นที่เหนือระดับ Let-go ขึ้นไปเล็กน้อย และมีผลทำให้ระบบการหายใจหยุดเนื่องจากร่างกายไม่สามารถเคลื่อนไหวกล้ามเนื้อทรวงอกได้ Ventricular fibrillation จะเกิดเมื่อมีระดับกระแสไฟถึงขนาด 50-120 mA เนื้อเยื่อจะแตกภายใต้ระดับพลังงานของกระแสที่ไหลจนอาจเปลี่ยนระดับความต้านทานของเนื้อเยื่อไปอย่างเห็นได้ชัด ทำให้อาจจะทำนายขนาดกระแสไฟที่ไหลเข้าสู่ร่างกายไม่ได้แน่นอน

จากสูตร $I = E/R$ แต่จะหาค่าได้ยากเพราะเราไม่ทราบค่าที่แน่นอนของความต้านทาน เช่นเดียวกันความร้อนที่เกิดขึ้นที่จุดสัมผัสกับกระแสไฟและจุดออกจะเป็นสัดส่วนโดยตรงกับกระแสไฟและความต้านทาน ($P = I^2 \times R$) และความร้อนที่เกิดขึ้นเป็นองศาเซลเซียส คือ 0.24 x กระแสไฟ$^2$ x ความต้านทาน (Temp. = $0.24 \times I^2 \times R$)[1]

**Voltage**

แรงดันหรือความต่างศักย์ไฟฟ้าเป็นการวัดค่าระหว่างสองจุด จะถูกกำหนดโดยแหล่งของไฟ อันตรายของไฟฟ้าดูดมักจะแบ่งตามระดับแรงต่างศักย์ออกเป็น High และ Low-voltage โดยใช้การแบ่งที่ 1,000 volt ระดับกระแสไฟแรงสูงมักทำอันตรายต่อเนื้อเยื่ออย่างมากและรุนแรงกว่าจนอาจทำให้ต้องรักษาด้วยการตัดแขนหรือขา

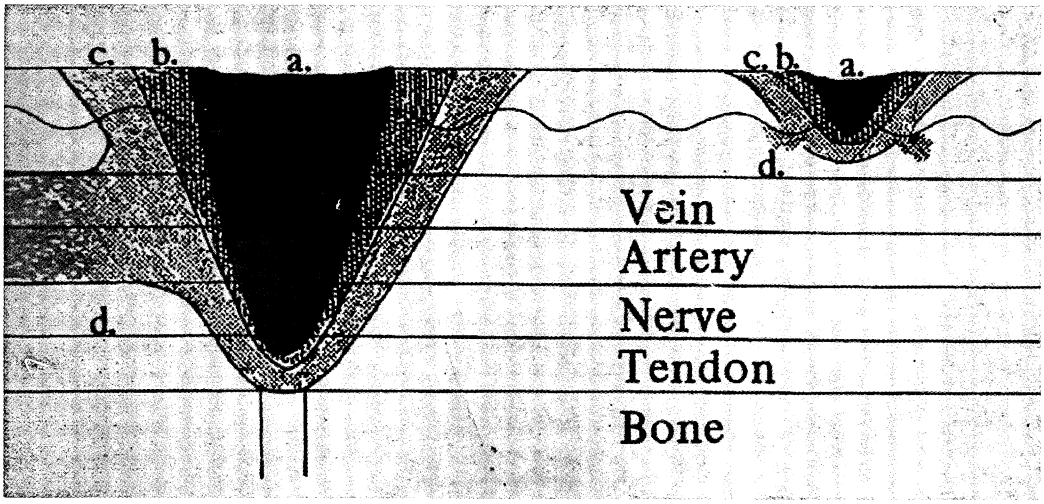
**Pathway**

เป็นทางที่กระแสไฟวิ่งผ่านร่างกายและเป็นแนวทางของเนื้อเยื่อที่คาดว่าจะได้รับอันตรายจากไฟฟ้า การเปลี่ยนพลังงานไฟฟ้าไปเป็นพลังงานความร้อนโดยไม่ว่าจะเป็น

High, Low, Lightning voltages ก็ตาม กระแสที่ไหลผ่านหัวใจหรือทรวงอกสามารถทำให้เกิดหัวใจเต้นไม่เป็นจังหวะ และมีการทำลายโดยตรงต่อหัวใจได้ กระแสที่ไหลผ่านสมองทำให้หยุดหายใจ ชัก หรือมีการทำลายโดยตรงต่อสมอง และเกิดการอ่อนแรงได้ กระแสที่ผ่านที่ใกล้ดวงตาสามารถทำให้เกิดต้อกระจกได้

หากกระแสไฟแรงสูงมากขึ้นจนชนะความต้านทานของเนื้อเยื่อได้ กระแสจะวิ่งผ่านร่างกายและเอาร่างกายเป็นส่วนหนึ่งของตัวนำไฟฟ้าและของวงจรไฟฟ้า พร้อมกับทำลายเนื้อเยื่อที่กระแสวิ่งผ่านไปแม้จะอยู่ห่างจากจุดเข้าและออกของไฟฟ้าก็ตาม

ฟ้าผ่าอาจจะมีการไหลภายในช่วงเวลาสั้นมากอย่างไม่น่าเชื่อและทำให้เกิดการลัดวงจรของระบบกระแสไฟภายในร่างกาย แต่มันแทบจะไม่มีรอยไหม้ให้เห็น หรือมีการทำลายของเนื้อเยื่อ ดังนั้นการบาดเจ็บของร่างกายในอุบัติเหตุฟ้าผ่า เช่น การไหม้ของเนื้อเยื่อและ Myoglobinuric renal failure พบได้น้อย แต่ทำให้ระบบหัวใจและหายใจหยุด เส้นเลือดหดเกร็ง ระบบประสาทถูกทำลาย และระบบประสาทอัตโนมัติไม่มั่นคง ฟ้าผ่าจะมีแนวโน้มทำให้เกิด Ventricular asystole มากกว่า Fibrillation ถึงแม้ระบบประสาทอัตโนมัติจะทำให้หัวใจเริ่มมีการเต้นอีกครั้ง ระบบหายใจก็ยังคงหยุดอยู่ (ซึ่งพบร่วมกับหัวใจหยุดเต้น) แต่เกิดอยู่นานกว่าและนานเพียงพอที่จะทำให้เกิดการทำลายทุติยภูมิของอัตราการเต้นของหัวใจจนกลายเป็น Ventricular fibrillation & Asystole ซึ่งจะดื้อต่อการรักษามากกว่าภาวะที่หยุดเต้นในระยะแรก การหยุดแบบทุติยภูมิซึ่งเคยเป็นทฤษฎีในอดีต แต่ปัจจุบันกลับมาได้รับความสนใจมากขึ้น การบาดเจ็บอื่น ๆ ที่เกิดจาก Blunt trauma หรือ Ischemia จากการหดเกร็งตัวของเส้นเลือด เช่น Myocardial infarction หรือ Spinal artery syndromes อาจจะเกิดขึ้นได้บ่อย ๆ จากฟ้าผ่า[2,4,11]




รูปแสดงการบาดเจ็บจาก Electrical burns 2 แบบที่มีความรุนแรงต่างกัน แต่มีลักษณะโดยรวมเหมือนกัน ภาพซ้าย ถูกกระแสไฟฟ้า High-volt age ทำให้ Brun และมีการทำลายเส้นเลือด ภาพขวาถูกกระแสไฟฟ้า Low-voltage โดย a. คือ Central charred zone ที่มีการตายหมดของเนื้อเยื่อ ตรงกลางจะเป็นเนื้อแข็งตัน b. คือ zone ที่อยู่รอบ ๆ central charred มีสีเทาขาว เนื้อเยื่อบริเวณนี้ยังปกติ ไม่มีเนื้อตาย c. เนื้อเยื่อรอบนอกที่เกิด Partial coagulation necrosis (the "red zone") ส่วนนี้เป็นส่วนที่มีความร้อนน้อยกว่าส่วนกลาง d. Coagulation of vessels จากความร้อนที่เกิดขึ้นจากกระแสไฟฟ้าที่ถูกส่งออกมาตามเส้นเลือด

## กลไกการได้รับบาดเจ็บจากไฟฟ้าดูด (Mechanisms of injury)

กลไกการบาดเจ็บจากไฟฟ้าได้แสดงในตารางที่ 5[11] มันยากที่จะตัดสินว่ากลไกใดของการบาดเจ็บที่ทำให้เกิดการ Burns ในขณะที่ผู้ป่วยมาถึงห้องฉุกเฉิน ซึ่งทำให้ยากที่จะประเมินการบาดเจ็บและบอกการพยากรณ์พื้นฐานจากประวัติและการตรวจร่างกายเพียงอย่างเดียวในทันที เช่น การบาดเจ็บเกิดจากการที่ร่างกายกลายเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้าที่มีการกระโดด (ARC) เพราะความร้อนจากการกระโดดของกระแสไฟฟ้าจะเกิดขึ้นประมาณ 2,500 องศาเซลเซียส[11,12] การ Arc อาจทำให้เสื้อผ้าไหม้และเกิด Secondary thermal burns ร่วมด้วยก็ได้

Blunt injury อาจจะเกิดในการบาดเจ็บจากไฟฟ้าดูด เพราะกระเด็นออกจากแหล่งไฟโดยการหดรัดตัวของกล้ามเนื้ออย่างแรง หรือมันอาจเป็นผลจากการตกจากที่สูง ความรุนแรงของการหดเกร็งตัวของกล้ามเนื้อที่เกี่ยวข้องกับกระแสไฟฟ้าสลับสามารถเกิดกระดูกหักและข้อเคลื่อนได้ การทำลายกล้ามเนื้ออาจจะเป็นจุด ๆ หรือเกิดเป็นบริเวณที่เห็นและไม่สามารถมองเห็นก็ได้ Periosteal muscle damage อาจจะเกิดแม้มองดูว่ากล้ามเนื้อข้างบน ๆ ดูปกติดี จึงควรเฝ้าติดตามดูอาการต่อไป

เส้นเลือดถูกทำลายบ่อยเพราะเป็นเนื้อเยื่อที่มีมากที่สุด และมีการ Diffusion ของความร้อนออกไปจากชั้น Intima โดยการไหลไปของเลือด อาจมีอาการในทันที หรือเกิด Thrombosis ทีหลัง เนื่องจากมีการอุดตันของเส้นเลือด ทำให้เกิดบวมและเลือดแข็งตัวและเกิดเป็นการทำลายที่ผิวชั้นใน (Intimal layer) ของผนังเส้นเลือด กระบวนการนี้จะเกิดได้ในเวลาเป็นวัน[11-13] การบาดเจ็บมักจะมีความรุนแรงมากที่สุดในชั้นกล้ามเนื้อเล็ก ๆ ขณะที่การไหลของเลือดจะช้าลง การทำลายต่อเส้นเลือดเล็ก ๆ ในกล้ามเนื้อที่ปนกันอยู่และกำลังจะตาย ทำให้ดูเหมือนว่ามีการตายของกล้ามเนื้อเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ การทำลายต่อเนื้อเยื่อประสาทอาจเกิดจากกลไกหลายอย่าง เนื้อเยื่อประสาทอาจจะแสดงถึงการลดลงอย่างทันทีของการนำสัญญาณประสาทในขณะที่มันกำลังเกิด Coagulation necrosis คล้ายกับที่เห็นในเนื้อเยื่อกล้ามเนื้อ ประกอบกับมันอาจจะถูกทำอันตรายทางอ้อมขณะที่มันมีเส้นเลือดมาเลี้ยงลดลงหรือ Myelin sheaths กำลังถูกทำลาย ขณะที่เส้นเลือดเส้นอื่น ๆ ถูกทำลายและเกิดการบวม อาการของระบบประสาทถูกทำลายอาจจะเกิดขึ้นอย่างทันที หรือเกิดทีหลังในหลายชม. หรือหลายวันหลังเกิดอุบัติเหตุก็ได้

เกี่ยวกับสมองมีรายงานว่าได้รับบาดเจ็บบ่อย ๆ เพราะกะโหลกศีรษะมักจะเป็นจุดสัมผัสกับไฟฟ้าได้บ่อย ๆ Histologic studies ของเนื้อสมองได้เปิดเผยให้เห็นถึงจุดเลือดออกเล็ก ๆ (Focal petechiae) ในก้านสมอง และเกิด widespread chromatolysis และสมองบวม[12]

การตายทันทีจากการเกิดไฟฟ้าดูดอาจจะเกิดจากการที่หัวใจหยุดเต้น Ventricular fibrillation หรือระบบหายใจหยุดไป ขึ้นอยู่กับความต่างศักย์และทิศทางที่กระแสไหลผ่านไปว่าผ่านหัวใจหรือไม่

Step voltage เกิดขึ้นเมื่อมีกระแสฟ้าผ่ากระจายออกไปรอบ ๆ ผ่านลงดิน ผู้ป่วยซึ่งมีขาหนึ่งใกล้กับจุดฟ้าผ่ากว่าอีกขาหนึ่ง จะมีความแตกต่างระหว่างเท้าทั้งสองได้จนกระทั่งกระแสอาจจะเหนี่ยวนำให้กระแสวิ่งข้ามไปอีกขาหนึ่งแล้วลงดินไป[11,14,15]

บาดแผลของผิวหนังจุดที่ไฟฟ้าลงดินหรือจุดสัมผัสกับไฟฟ้าที่พบบ่อยเกิดจาก Electrothermal heat คือจะมีจุด Central charred (zone a. ตามรูป) เป็นจุดที่สัมผัสกับไฟฟ้าโดยตรงหรือจุดลงดิน มีสีดำแข็ง บริเวณนี้จะมีเนื้อตายหมด จุดนี้จะล้อมรอบด้วยเนื้อเยื่อสีเทาขาว (zone b.) บุ๋มลง และแห้ง ซึ่งจะมีเนื้อเยื่อรอบนอกที่เป็น Blood-red coagulation necrosis ของผิวหนัง (zone c. และ d.) บริเวณที่กล่าวมานี้จะถูกทำลายตลอดความหนาของผิวหนัง (Full-thickness) จะมีความรุนแรงที่สุดตรงใต้ส่วนจุดศูนย์กลางที่มีสีดำ (Central charred) และน้อยลงเรื่อย ๆ เมื่ออยู่รอบนอกออกไป[1,8]

ผลการตรวจทางพยาธิวิทยาของเนื้อเยื่อที่ขอบจะเรียก "Red zone" (zone c. ตามรูป) ซึ่งเป็นบริเวณ

จุดแดง ๆ ของเนื้อเยื่อที่ตาย (Coagulation necrosis) และเส้นเลือดที่ถูกทำลาย เส้นเลือดเส้นใหญ่ปกติจะยังคงมีรูเปิดและแสดงให้เห็นเนื้อเยื่อส่วน Intima และ Media และมี Surface thrombi ซึ่งอาจจะแสดงให้เห็นปรากฏการณ์ของการมีเลือดออกทีหลัง (Delayed hemorrhage) หรือ Complete thrombosis ส่วนเส้นเลือดเส้นเล็ก ๆ จะแสดงให้เห็นถึงการถูกทำลายที่ผนังเส้นเลือดเช่นเดียวกัน ส่วน Complete thrombosis ซึ่งทำให้เกิดการตายของกล้ามเนื้อ และการทำลายเนื้อเยื่อในบริเวณที่กระแสไฟฟ้าผ่าน เมื่อศึกษากล้ามเนื้อที่ตายจากไฟฟ้าด้วย Frozen section ตามแนวที่กระแสไฟฟ้าไหลผ่านจะพบว่ามี Clumping ของ Nuclear chromatin และ Coagulation ของ Myofibrillar proteins และมีการแตกแยกออกของ Myofilament bundles ซึ่งเป็นตัวชี้ให้เห็นถึงการมี Myonecrosis[1]

**อาการทางคลินิก**

อาการทางคลินิกของการบาดเจ็บจากไฟฟ้าอาจจะแบ่งออกเป็นระยะเฉียบพลัน (Immediate) และแบบระยะหลัง (Late)[1,11,16] แบบระยะเฉียบพลันประกอบด้วย หัวใจและระบบหายใจหยุด หมดสติ ความผิดปกติของระบบ Motor, Sensory ความจำเสื่อม ความสับสน ระยะเวลาที่หมดสติไปยิ่งนาน ความรุนแรงของความจำเสื่อมและสับสนยิ่งมากขึ้น อายุมาก ความอ่อนล้า Atherosclerotic aterial disease และ Hypothyroidism อาจจะลดความสามารถทนทานต่อการบาดเจ็บจากกระแสไฟฟ้าได้[16]

ส่วนการบาดเจ็บแบบระยะหลัง (Late) อาจจะแบ่งออกเป็น Focal และ Non-focal deficits และอาจเกิดได้ในระยะเวลาหลายวันจนถึงเป็นเดือนหลังจากถูกไฟฟ้าดูดก็ได้ Focal deficits รวมถึงการสูญเสียทางสมอง (Hemiplegia, Aphasia), Spinal (Transverse myelitis, Progressive muscular atrophy, Amyotrophic lateral sclerosis) และระบบประสาทส่วนปลาย (Neuropathies, Radiculopathies) ส่วน Non-focal deficits เช่น Psychoneurotic behavior, Personality changes, Confusion, Amnesia และปวดศีรษะ ซึ่งพบได้บ่อย และจะไม่จำกัดว่าเกิดขึ้นในรายที่กระแสไฟฟ้าผ่านสมองเท่านั้น ความผิดปกติของ EEGs ได้มีรายงานในรายซึ่งสมองอยู่นอกเส้นทางเดินของกระแสไฟฟ้าก็ได้[16-18]

**การรักษา**

**หลักการรักษาทั่วไป**

ถ้าผู้ป่วยถูกนำมาโรงพยาบาลเพื่อรักษา จะต้องตรวจร่างกายและทางห้องปฏิบัติการ เพื่อประเมินสภาวะความบาดเจ็บของผู้ป่วยซึ่งสำคัญมาก แพทย์จะต้องคำนึงถึงอายุของผู้ป่วย สภาพร่างกายทั่ว ๆ ไป และสุขภาพก่อนที่ได้รับบาดเจ็บ และควรคำนึงถึงวิธีการที่ถูกไฟฟ้าดูดด้วย เช่น ความต่างศักย์ ระยะเวลาที่สัมผัสไฟ และประวัติการตกจากที่สูง (ซึ่งรวมถึงมีการหมดสติหรือไม่) หรือต้องมีการปฏิบัติการกู้ชีวิตหรือไม่

ผู้ป่วยควรได้รับการตรวจร่างกายเพื่อหาการบาดเจ็บโดยละเอียด เช่น กะโหลกแตก กระดูกหัก ความผิดปกติของระบบหัวใจและหลอดเลือด การบาดเจ็บในช่องท้อง และ Thermal burns ตำแหน่งที่ถูกไฟฟ้าดูดควรถูกบันทึกไว้ เพื่อวางแผนการรักษาที่เหมาะสม[1-3]

การช็อกและการไม่สมดุลของเกลือแร่พบได้น้อยมาก แต่อาจจะพบได้รุนแรงในผู้ป่วยที่ถูกไฟฟ้าแรงสูงดูด ซึ่งจะสัมพันธ์กับการบาดเจ็บอวัยวะภายใน เส้นเลือดหรือผิวหนังที่ถูกทำลาย การประเมินของผลตรวจทางห้องปฏิบัติการควรตรวจตามระดับความรุนแรงของการบาดเจ็บ หากเป็นการบาดเจ็บจากกระแสไฟฟ้าแรงสูง ควรตรวจคลื่นไฟฟ้าหัวใจ X-ray ศีรษะ CBC, UA, Urine myoglobin, Hemoglobin, Blood chemistry การตรวจ Myoglobinuria และ Hemoglobinuria สามารถใช้ทำนายว่าอาจเกิด Renal tubular obstruction ซึ่งทำให้เกิดไตวายได้ต่อมา การตรวจนับเม็ดเลือดแดงจะช่วยบอกถึงการที่ไขกระดูกโดนทำลายที่เกิดได้ในบางราย รายที่สงสัยมีการ

ทำลายของอวัยวะภายในก็ควรตรวจ LFT ด้วย[1-3,9]

มีการศึกษาพบว่าผู้ป่วยที่ได้รับบาดเจ็บจากไฟฟ้าแรงสูง หรือมีการบาดเจ็บอย่างรุนแรง หรือเมื่อทำคลื่นไฟฟ้าหัวใจเมื่อแรกรับแล้วพบความผิดปกติ ควรรับตัวไว้ตรวจเฝ้าติดตามดูต่ออย่างน้อย 24 ชั่วโมงเพื่อหาการบาดเจ็บต่อหัวใจทั้งกล้ามเนื้อหัวใจตายและหัวใจเต้นผิดจังหวะ ซึ่งทำให้ผู้ป่วยเสียชีวิตได้[19-20]

มาตรการการปฏิบัติการกู้ชีวิตที่เหมาะสมควรจัดตั้งขึ้น ทั้งในระดับท้องถิ่นและโรงพยาบาล การพิจารณาให้ Anticlostridial prophylaxis ควรให้ในผู้ป่วยที่ถูกไฟฟ้าแรงสูงดูดเพราะมีการตายของเนื้อเยื่อลึกมากจะมีการติดเชื้อได้ในภายหลัง และการให้ TT, TAT และ Antibiotic prophylaxis ก็เป็นข้อบ่งชี้ด้วย[1,3,21,22]

## การให้สารน้ำ

ผู้ป่วยควรได้รับการ Resuscitate ด้วยสารน้ำที่เหมาะสมทันทีหลังจากรับตัวไว้โรงพยาบาล ตามแต่ภาวะของโรคขณะนั้น และมากกว่านั้นหากมีภาวะ myoglobinuria & Hemoglobinuria การให้ยาขับปัสสาวะหรือ Manitol อาจจะมีประโยชน์ในการ Resuscitate และป้องกันการเกิด Renal failure สารน้ำจะให้ด้วยขนาดที่เพียงพอต่อการหล่อเลี้ยงอวัยวะและเนื้อเยื่อ ซึ่งดูจากการมีปัสสาวะออก 0.5-1.0 cc/kg/hr ชีพจรน้อยกว่า 120/min และผู้ป่วยต้องรู้สึกตัวดี ผู้ป่วยที่มีภาวะ Acidosis ขณะรับตัวไว้หรือมี Myoglobinuria อย่างชัดเจนควรได้รับโซเดียมไบคาร์บอเนตและ Manitol หรือ Lasix ทางหลอดเลือดจนกระทั่งปัสสาวะใส[1-3,9] การเฝ้าติดตามของผู้ป่วยระหว่างระยะช็อกจะขึ้นกับการตอบสนองทางคลินิกแต่ละรายว่าการรักษาเพียงพอหรือไม่ ระยะเวลาของการให้สารน้ำจะกำหนดโดยสภาวะของผู้ป่วยและผลตรวจทางห้องปฏิบัติการ

## การดูแลบาดแผล

High-tension electrical injury จะมีอัตราการตายต่ำและอัตราการบาดเจ็บสูง Early serial debridement และการให้สารน้ำชดเชยให้ เพียงพอจะลดอัตราการตายและบาดเจ็บได้ แต่อัตราการตัดแขนขายังสูงอยู่ การทำ Early fasciotomy[1-3,9,18] จะไม่ลดอัตราการตัดแขนขาลงอย่างมีนัยสำคัญ

การตัดเนื้อตายแต่เนิ่น ๆ ให้เพียงพอควรทำทันที ถ้าผู้ป่วยมีภาวะทั่วไปเอื้ออำนวยให้ การตัดเนื้อตายที่แขนหรือขา โดยใช้ Pneumatic tourniquet เพื่อช่วยหยุดเลือดจะได้ตรวจดูขอบเขตของเนื้อที่ถูกทำลายให้ชัดเจน การส่งตรวจ Frozen sections เพื่อตรวจดูขณะทำ Debridement อาจจะช่วยในการกำหนดขอบเขตของเนื้อเยื่อที่จะตัดทิ้งได้ดีขึ้น ในรายที่มีการทำลายอย่างมาก เนื้อเยื่อนั้นจะมีแผลไหม้สีดำแข็ง (Charred) เส้นเอ็น ข้อต่อที่ถูกทำลายจะมีลักษณะด้าน แห้ง และสีออกน้ำตาล หรือสีเทาดำ ไขมันที่ตายจะทึบและสีชมพูเทา เมื่อเทียบกับปกติที่มีสีเหลือง เส้นประสาทจะบวม นุ่ม เปราะ และสีเทาดำ หรืออาจเหนียวหรือแข็ง ส่วนกล้ามเนื้อที่ Coagulated necrosis จะมีสีน้ำตาลอ่อน เหมือนนมช็อกโกแล็ต ส่วนผิวหนังที่แข็งตายโดยเกิดจาก Coagulated necrosis จะมีสีแดงเลือด และพบบ่อยใน Third-degree thermal burns ดังนั้นการตัดเนื้อเยื่อที่เสียออกให้เพียงพอมีความจำเป็นต่อผลสำเร็จในการซ่อมแซมรักษาและยังป้องกันการติดเชื้อ[1-3,5,9,18]

ถ้าแพทย์ผู้ผ่าตัดสงสัยการตัดเนื้อตายออกแต่เนิ่น ๆ ว่าจะเพียงพอหรือไม่ อาจจะรออีกสองถึงสามวันแล้วเปิดดูแผลใหม่อีกครั้งแล้วตัดเพิ่มเติมอีกก็ได้ เพื่อให้ตัดได้เพียงพอ

ผู้ป่วยที่ต้องรับการผ่าตัดบาดแผลเพื่อลดแรงกดรัดของเนื้อผิวหนังที่แข็ง (Entrapping) หลังจากผู้ป่วยอาการทรงดีแล้ว ปกติจะทำภายใน 2 ชั่วโมงหลังรับตัวไว้ ถ้ามีผิวหนังแข็งรอบแขนขา (Circumferential charred wound) หรือนิ้วและไม่มีหรือลดลงของชีพจรส่วนปลาย หรือสูญเสียความรู้สึก หรือ Motor function ของ Distal limb จะต้องเริ่มการรักษาเบื้องต้นทางศัลยกรรมด้วยการทำ Escharotomy หรือ Fasciotomy ของแต่ละแขนขาและ

นิ้ว เพื่อลดแรงกดรัด ภายใน 2 วันที่นอนโรงพยาบาล จะเริ่มเห็นเนื้อเยื่อที่ตายและต้องตัดออกอย่างชัดเจน แผลลักษณะแตกต่างกันก็จะได้รับการรักษาที่แตกต่างกันไปเช่น Skin grafts, Free tissue transfer หรือที่ใช้บ่อยที่สุดคือ Pedicled flap การตัดแขนขาจะทำก็ต่อเมื่อเนื้อเยื่อส่วนปลายของนิ้วหรือแขนขาตายหมดภายใน 7-14 วัน การตัดอย่างเร่งด่วนจะทำทันทีเมื่อมีการตายทั้งหมดของเนื้อเยื่อแล้วเพื่อให้ผู้ป่วยรอดตายและป้องกันการติดเชื้อ[23,24]

การ Debridement แต่เนิ่น ๆ มีความจำเป็นเพื่อป้องกันการติดเชื้อ[24] ส่วนวิธีการผ่าตัดยังไม่ได้รับการพิสูจน์ว่าวิธีใดจะมีประโยชน์มากกว่าวิธีใดเพราะความสามารถในการที่ผู้ป่วยจะกลับมาทำงานได้หลังการรักษานั้นมีรายงานการศึกษาน้อยมาก แนวความคิดของการตายของเนื้อเยื่อหลังถูกไฟฟ้าทำลายมีเพิ่มมากขึ้นเรื่อย ๆ เช่น การศึกษาของ Hassmann[4] ได้ศึกษาและสรุปรวบรวมวิธีการรักษาแบบต่าง เช่น ผลดีของการทำ Debridement ของเนื้อตายจากการทำลายของไฟฟ้า จะสามารถเย็บปิดแผลได้ภายใน 2 สัปดาห์ ท่านอื่น ๆ ที่ใช้การรักษาโดยการตัดเนื้อเยื่อออกมาก ๆ ให้เพียงพอแล้วทำการปะหนังรักษาภายหลังด้วย skin grafts หรือ Free flaps การรักษาโดยใช้ Vein graft แต่เนิ่น ๆ เพื่อลดการตัดแขนขา หรือวิธีการใช้ Free flaps เพื่อปิดแผลที่ตัดอย่างมาก (Radical debrided) ภายใน 1-10 วันหลังจากไฟฟ้าดูด[23] แนวทางการรักษาที่หลากหลายเหล่านี้ทำให้เกิดความสับสนของการรักษาที่เหมาะสมที่สุดและยังไม่มีการยืนยันผลการรักษาด้วยวิธีใด ๆ ว่าดีกว่ากันในปัจจุบัน

การทำนายผลหลังจากปฏิบัติการกู้ชีวิตมักจะขึ้นอยู่กับอาการทางระบบประสาทที่ตรวจพบซึ่งเหมือนกับ Anoxic encephalopathy หากเกิด Severe anoxic encephalopathy ผู้ป่วยมักจะมีการพยากรณ์โรคไม่ค่อยดี ดังนั้นการปฏิบัติการกู้ชีวิตโดยผู้ชำนาญการจะมีความสำคัญมาก โดยเฉพาะรายที่ตรวจพบ Myoclonic jerks ซึ่งแพทย์ระบบประสาทเชื่อว่าจะเกิดในรายที่มีการถูกทำลายอย่างถาวรต่อระบบประสาทส่วนกลาง ตามรายงานการศึกษาของ Levy และคณะ[25] ว่าการทำนายผลของการกู้ชีวิตในผู้ป่วยที่โคมาจากการถูกไฟฟ้าดูดมีถึงร้อยละ 89 ที่มีโอกาสจะไม่ฟื้นคืนกลับหรือยังมีอยู่ของระบบประสาทที่ถูกทำลาย (Vegetative state) เมื่อเทียบกับเพียงร้อยละ 6 ที่จะมีผลการรักษาดีและฟื้นกลับสู่สภาพเดิมได้

ความแตกต่างระหว่าง Initial poor prognosis และ good final outcome อาจจะอธิบายว่าได้อิทธิพลโดยตรงของกระแสไฟฟ้าที่มีต่อสมอง ถึงแม้มันไม่สามารถจะแยกได้อย่างชัดเจนว่าสมองนั้นถูกทำลายโดยการกระทบกระแทกของศีรษะ (Blunt trauma) หรือจากไฟฟ้าแน่ แต่อาการแสดงทางสมองดังกล่าวไม่มีการกลับสู่สภาพปกติได้ในระยะเวลาอันสั้นผลการรักษามักจะไม่ดี การพยากรณ์โรคสำหรับผู้ป่วยหลังจากที่ได้รับการปฏิบัติการกู้ชีวิตขณะมาถึงโรงพยาบาลขึ้นกับการยังมีอยู่ของ Brainstem reflex การตอบสนองของ Motor และ Spontaneous eye movements หลังจากการบาดเจ็บจากไฟฟ้าดูด การตอบสนองของม่านตาอาจจะหายไปเนื่องจากการทำลายไปด้วยของระบบประสาทอัตโนมัติ[5,11,25] ยิ่งกว่านั้น การตอบสนองของระบบ Motor อาจจะไม่มีเนื่องจากการอ่อนแรงของแขนขาชั่วคราวได้ ดังนั้นในผู้ป่วยที่ได้รับการปฏิบัติการกู้ชีวิตหลังจากไฟฟ้าดูด การพยากรณ์ควรจะทำด้วยความระมัดระวังรอบคอบ และสามารถเชื่อถือได้เมื่อตรวจอาการต่าง ๆ พบได้หลังจาก 2-3 วันเมื่ออยู่โรงพยาบาล คือเมื่อผลโดยตรงของไฟฟ้าในระยะเฉียบพลันเริ่มหายไปแล้ว

มีรายงานว่าไฟฟ้าดูดทำให้เกิด Vascular thrombosis ในสมองได้ แต่ไม่มีหลักฐานว่าการใช้ Anticoagulant ในผู้ป่วยที่มี Intracerebral thrombosis จะได้ผลดีเพราะมีการศึกษาถึงการใช้ยานี้ถึง 6 เดือนพบว่าไม่มีประโยชน์เลย ส่วนอาการ Diffuse cerebral dysfunction พบได้บ่อย และอาจจะเกิดอยู่นาน ๆ ได้ ในผู้ป่วยที่ไม่ตายจากไฟฟ้าดูด ควรจะมีการตรวจทางห้องปฏิบัติการเพิ่มเติม คือ CT scan, EEG, Cerebral angiography อาจจะมีประโยชน์ถึงแม้ในรายที่มีผล CT

scan ปกติก็ตาม

## การบาดเจ็บต่ออวัยวะต่าง ๆ ที่สำคัญจากไฟฟ้าดูด

### Soft tissue injury

โดยทั่วไปการทำลาย Soft tissue จะพบได้น้อยมากใน Low-voltage การไหลของกระแสจะต่ำมากจนไม่ทำให้เกิดความร้อนขึ้น ยกเว้นที่นิ้วมือ นิ้วเท้าและอวัยวะที่เล็กและบาง เพราะความต้านทานของเนื้อเยื่อจะมีสัดส่วนผกผันกับเส้นผ่าศูนย์กลางตัดขวาง คือความร้อนจะมากขึ้นเมื่อเส้นผ่าศูนย์กลางเล็กลงหรือมีความต้านทานสูงขึ้น[1,9]

อุบัติเหตุฟ้าผ่าจะมีการทำลายต่อ Soft tissue โดยมีกลไกจาก Electrothermal heating ถึงแม้กระแสไฟจะสามารถไหลผ่านร่างกายระหว่างช่วงแรกสุดของฟ้าผ่าแต่ระยะเวลาที่กระแสไหลผ่านจะสั้นมาก (น้อยกว่า 0.001 วินาที) จึงทำให้เกิดความร้อนขึ้นมาทำลายเนื้อเยื่อน้อยมาก การทำ Fasciotomies แทบจะไม่จำเป็นต้องทำในผู้ป่วยฟ้าผ่าเลย[11,15]

### Muscle injury

ความรุนแรงของกล้ามเนื้อชั้นลึก ๆ ที่ถูกทำลายนั้นจะแปรปรวนและมักจะไม่เห็นได้ชัดทางคลินิก การทำลายของกล้ามเนื้อสามารถเกิดได้ด้วยการหดรัดตัวอย่างแรงหรือความร้อนของ Joule เพราะว่าอุบัติเหตุส่วนมากเกิดได้กับไฟฟ้าที่มีความถี่ 40-60 Hz และกล้ามเนื้อลายมีความไวมากกับกระแสสลับที่มีความถี่ขนาดนี้[23] กล้ามเนื้อการหายใจอาจจะอ่อนแรง ทำให้หยุดหายใจ การหดรัดตัวอย่างแรงและต่อเนื่องนาน ๆ ของกล้ามเนื้อสามารถทำให้มีการทำลายต่อกล้ามเนื้อได้หลายระดับ เช่น เพียงแค่ฟกช้ำจนถึงกล้ามเนื้อฉีกขาด และการทำลายโดยความร้อนที่เกิดขึ้นอย่างทันทีอาจทำให้มีการฉีกขาดของกล้ามเนื้อและเอ็น แรงหดรัดตัวสามารถเกิดได้แรงจนกระทั่งเกิดการเคลื่อนของข้อใหญ่ ๆ เช่น ไหล่ และการหักของกระดูกสันหลังและกระดูกยาวบ่อย ๆ บางรายจะกระเด็นหรือถูกเหวี่ยงออกมาไกลหลายเมตรและเกิด Blunt injuries ร่วมด้วย[1,2,9]

ภายในสภาวการณ์ของการมีไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายนาน ๆ การหดรัดตัวของกล้ามเนื้อแบบ Tetanic ทำให้เกิดการขาดเลือดไปเลี้ยงกล้ามเนื้อ เซลล์กล้ามเนื้อซึ่งต้องใช้ออกซิเจนในการ Metabolism จะเปลี่ยนไปเป็น Anaerobic glycolysis และสร้างกรด Lactic เพิ่มขึ้น จึงเกิด Local metabolic acidosis ขึ้นและเสียสมดุลของเซลล์ไปกล้ามเนื้อจะบวมและปวดโดยกระบวนการดังกล่าว

### Vascular injuries

การบาดเจ็บของเส้นเลือดที่รุนแรงจะพบได้ใน High-voltage และเนื่องจากกลไก Electrothermal heating ผู้ป่วยส่วนใหญ่จะบาดเจ็บที่แขนและขา และภายใต้ผิวหนังที่ไม่มีรอยไหม้ให้เห็นจากภายนอก กล้ามเนื้อและเนื้อเยื่อที่บาดเจ็บจะถูกซ่อนอยู่ข้างใต้ผิวหนังซึ่งพบได้บ่อย ๆ การตัดสินใจที่จะตัดแขนขาจะมีตัวชี้แนะโดยส่วนที่ตรวจด้วย Arteriography เมื่อมีการอุดตันสมบูรณ์ จะมีการตายอย่างมากของเนื้อเยื่อรอบ ๆ ที่เส้นเลือดเส้นนี้ไปเลี้ยง ถ้ามีการอุดตันบางส่วนก็จะมีกล้ามเนื้อตายด้วยบางส่วน การตรวจ Arteriography เพื่อหาเส้นเลือดแดงที่มีการลดลงของปริมาณเลือดที่ไหลผ่านจะแสดงให้ทราบถึงกล้ามเนื้อที่อาจถูกทำลายและความจำเป็นที่ต้องมีการผ่าตัดเปิดสำรวจหาเนื้อเยื่อที่ตายบริเวณนั้น ๆ[2,9,13,18,24]

ถึงแม้มี Abnormal arteriography จะแสดงถึงการมีกล้ามเนื้อตาย แต่ Normal arteriography ก็ไม่ได้พิสูจน์ว่าจะไม่มีกล้ามเนื้อตายหรือถูกทำลาย เพราะกล้ามเนื้ออาจถูกทำลายโดยตรงด้วยความร้อนจากไฟฟ้า ในบางรายการวินิจฉัยหาส่วนที่ตายอาจจำเป็นต้องทำ Fasciotomy ผ่าน Eschar หรือบริเวณผิวหนังที่ไม่ตายเพื่อหา เนื้อตายข้างล่างให้แน่นอน[18]

ดังนั้น การเริ่มต้นประเมินการบาดเจ็บ การคลำชีพจรไม่พบอาจจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงมีการทำลายของเส้นเลือดด้วย อย่างไรก็ตาม การคลำชีพจรไม่พบอาจเป็นผลมาจากการหดเกร็งของเส้นเลือดจากการกระตุ้นของเส้นประสาท

ชั่วคราว หรือเพราะมี Subeschar หรือ Subfascial edema[24] ก็ได้ ถ้าวงจรโลหิตในแขนขาไม่สามารถฟื้นคืนได้ภายในสองสามชั่วโมง ควรคิดถึงการบาดเจ็บของเส้นเลือดอย่างรุนแรง ขณะที่เส้นเลือดมีความต้านทานต่ำต่อกระแสไฟฟ้า ดังนั้นจึงเกิดการทำลายต่อเส้นเลือดได้มากกว่าที่อื่น ดังนั้นการตัดสินใจตัดแขนหรือขาจะตัดสินจากการบาดเจ็บและมีการทำลายอย่างรุนแรงของเส้นเลือด

**Injuries to the nervous system**

เนื้อเยื่อประสาทจะมีความไวต่อการกระตุ้นของอุบัติเหตุไฟฟ้ากระแสสลับ และการปิด ๆ เปิด ๆ ของกระแสตรง ถึงแม้เนื้อเยื่อประสาทสามารถทำลายได้ง่ายด้วยความร้อนที่เกิดขึ้น แต่เนื่องจากเนื้อเยื่อประสาทมีไขมันสูงจึงมีการนำความร้อนและนำกระแสไฟฟ้าได้ต่ำ จึงแทบจะไม่พบมีการทำลายของเส้นประสาทใน High-voltage injury

**Cerebral injury**

การสิ้นสติทันทีพบได้บ่อยมากในผู้ป่วยไฟฟ้าดูดจะพบได้เกือบทุกราย ซึ่งพบได้ตั้งแต่ 10-50%[9] โดยทั่วไปอุบัติการณ์ของการบาดเจ็บของ Cerebral ใน High-voltage จะสูงกว่าใน Low-voltage แต่จะเป็นการยากที่จะตัดสินใจว่ามีการสิ้นสติเนื่องจากการบาดเจ็บอย่างมากของไฟฟ้าหรือไม่ หรือเป็นผลจากการเกิด Blunt head trauma ผู้ป่วยส่วนมากจะมีการฟื้นคืนสติได้ในสองสามนาที อย่างไรก็ตาม ถ้ามีผลกระทบโดยตรงต่อศีรษะ การสิ้นสติอาจจะนานขึ้น และถ้าหากศูนย์การหายใจเป็นส่วนหนึ่งของวงจรที่ไฟวิ่งผ่านจะทำให้หยุดหายใจได้ การคืนมาของการหายใจมักจะเกิดขึ้นเองแต่จะช้าหลายชั่วโมง ซึ่งเป็นช่วงที่มีความจำเป็นต้องใช้การหายใจเทียมช่วยประคองเพื่อป้องกันการเกิด Hypoxemia และ Secondary brain death[4,5,9,18,25] ถ้าการกู้ชีวิตเริ่มขึ้นทันที การพยากรณ์โรคจะดี (รอดชีวิตได้ถึง 70%)[25]

มีความจริงที่ว่าการหมดสติหลังจากฟ้าผ่าเป็นผลกระทบโดยตรงต่อสมอง แต่จะไม่พบการหมดสติในกรณีเฉพาะผู้ป่วยที่ขาสองข้างเป็นทางผ่านของไฟฟ้าจากข้างหนึ่งไปยังอีกข้างหนึ่ง (step voltage) คือ ไม่ผ่านสมองนั่นเอง[11,14,15] แต่จะพบการบาดเจ็บต่อไขสันหลังแทน

ปรากฏการณ์ Acute cerebral อื่น ๆ หลังไฟฟ้าดูดรวมถึงอาการปวดหัว มึนงง อ่อนแรง ขาดสมาธิความ วิตกกังวล สิ่งที่พบบ่อยที่สุดคือมีบุคลิกภาพเปลี่ยนแปลงชั่วคราวซึ่งจะหายภายในสองสามวัน โดยทั่วไป ผลเฉียบพลันที่ตามหลังมาจะพบบ่อยมากหลังจากถูก High-voltage ร่วมกับการมีกระแสไฟฟ้าไหลผ่านร่างกายปริมาณมาก (High internal current flow) มากกว่าหลัง Low-voltage accidents

**Acute spinal cord and peripheral nerve injuries**

การบาดเจ็บต่อไขสันหลังพบได้ยากในอุบัติเหตุไฟฟ้าดูด แต่มักเป็นภาวะที่พบได้ในระยะหลัง (Late complication) มากกว่าระยะเฉียบพลัน การบาดเจ็บของไขสันหลังจะพบก็เพียงกรณีที่มีไฟฟ้าวิ่งผ่านไขสันหลังโดยตรง ซึ่งคือกระแสวิ่งจาก Arm-to-arm, Head-to-arm, Arm-to-leg, Leg-to-leg flow current[1,4,17]

การตรวจพบความผิดปกติทางระบบประสาทที่พบร่วมกับการบาดเจ็บไขสันหลัง อาจรวมถึงการเกิด Spinal shock ร่วมกับความดันโลหิตต่ำ หัวใจเต้นช้า Priapism, Limb paralysis, paresthesia, pain ปัสสาวะลำบาก หลังจากไฟฟ้าดูด การพยากรณ์โรคสำหรับการฟื้นคืนจากภาวะแทรกซ้อนเฉียบพลันมักจะดีมาก อย่างไรก็ตามในรายที่มี Electrothermal heating อย่างมากในบริเวณไขสันหลัง การถูกทำลายไขสันหลังจะพบอย่างถาวรได้

การบาดเจ็บต่อไขสันหลังระยะเฉียบพลัน พบว่ามักจะเกิดแบบไม่ Complete และไม่สัมพันธ์กับกระดูกหัก การเสียระบบ Motor อาจจะเกิดขึ้นหลังไฟฟ้าดูดเป็นปี อาการของไขสันหลัง Spinal cord transection, Sympathetic dystrophy หรือ Cerebral dysfunction อาจปรากฏขึ้นนานเกินกว่าสามปีหลังการบาดเจ็บก็ได้

การบาดเจ็บต่อระบบประสาทส่วนปลายจากไฟฟ้าดูด จะแตกต่างจากผลกระทบจากฟ้าผ่า ในรายที่เกิดจาก High-voltage ระบบประสาทส่วนปลายและกล้ามเนื้อกระดูกและผิวหนังรอบ ๆ จะถูกทำลายด้วย Electrothermal heating process ดังนั้นการทำลายเส้นประสาทส่วนปลายเส้นสำคัญแทบจะไม่พบเป็นเส้นเดี่ยว ๆ เลย ควรจะต้องทราบว่าการถูกทำลายส่วนนี้มีส่วนในการพิจารณาตัดสินใจการจะตัดแขนหรือขาด้วย

Reflex sympathetic dystrophy (RSD) เป็นความผิดปกติของระบบประสาทอัตโนมัติที่พบได้บ่อยที่สุดหลังจากโดนไฟฟ้าดูด ซึ่งมักจะไม่เกิดอาการอะไรในระยะแรกที่ถูกไฟฟ้าดูดแต่จะเกิดในระยะหลังซึ่งอาจนานเป็นปีหลังเกิดเหตุ พวกนี้จะมีการพยากรณ์โรคไม่ดี[1,17,25]

**Keraunoparalysis and reflex sympathetic dystrophy**

การเกิดอ่อนแรง (Paralysis) ของแขนขาแบบชั่วคราวทันทีหลังฟ้าผ่าเรียกว่า Keraunoparalysis เพราะลักษณะชั่วคราวของอาการ และเมื่อสังเกตอาการทางคลินิกอย่างใกล้ชิดต่อไปก็ไม่พบความผิดปกติอะไรเพิ่มเติม และการอ่อนแรงจะหายเป็นปกติภายหลังได้[11,14,15]

กลุ่มอาการนี้ (syndrome) จะประกอบด้วย Paralysis ของแขนขาข้างหนึ่งหรือสองข้าง โดยเฉพาะที่ขาและสัมพันธ์กับ Vasomotor disturbances เช่น arterial spasm, Coolness of extremity ผิวหนังซีด การคลำชีพจรไม่พบ ความรู้สึกก็ถูกรบกวนด้วย ซึ่งมักจะหายเป็นปกติภายใน 1 ชม. บางรายอาจเป็นนานถึง 24 ชม.ได้ อาการจะเหมือนกับความผิดปกติในหน้าที่ (functional disorder) ของ Motor, Sensory, Vasomotor peripheral nerves ทฤษฎีเบื้องต้นที่อธิบายคือการหดเกร็งของเส้นเลือดในแขนขาที่โดนไฟฟ้าวิ่งผ่าน Keraunoparalysis ของขาทั้งสองข้าง เป็นผลของกระแสไหลจากจุดเข้าและออกที่ขาเองเลย เช่น ที่พบบ่อย ๆ ในรายที่เป็น High step voltage อาการจะเป็นชั่วคราว การรักษาโดยการผ่าตัดจะไม่จำเป็นเลย และการพยากรณ์โรคดีมาก

**Late neurologic disorders**

ความผิดปกติทางสมองที่พบบ่อยที่สุดหลังไฟฟ้าดูดคือในระยะเฉียบพลันซึ่งจะเป็นชั่วคราวสามารถฟื้นคืนได้ในไม่กี่ชั่วโมงหรือวัน อย่างไรก็ตามถ้าสมองกลายเป็นส่วนหนึ่งของวงจรไฟฟ้าที่ไหลผ่าน และไฟที่ไหลผ่านเป็นไฟแรงสูงที่ทำให้เกิดความร้อนขึ้น จะเกิดความพิการแบบถาวรได้ ไม่บ่อยนักที่ความผิดปกติทางระบบประสาทจะเกิดขึ้นถาวร อาการทางประสาทจะเกิดระยะหลังอุบัติเหตุเป็นเวลา 2-3 สัปดาห์ถึงเดือน คือช่วงเวลา Latent period การบาดเจ็บไขสันหลังจะมีอาการแสดงออกเป็น Motor atrophy symptoms ซึ่งมีลักษณะการดำเนินโรคช้า ๆ (Slowly progressive character) ซึ่งอาจจะคล้ายกับกลุ่มอาการ Neurologic syndrome ที่รู้จักกันดี เช่น Transverse myelitis, Amyotrophic lateral sclerosis, Secondary muscular atrophy ซึ่งการฟื้นคืนสู่ปกตินั้นยาก[1,17,25]

**Heart**

Heart Myocardial damage หลังไฟอุบัติเหตุ High voltage injury มักจะถูกมองข้ามเพราะผู้ป่วยเหล่านี้อาจจะไม่มีอาการหัวใจขาดเลือด เจ็บแน่นหน้าอก, ECG changes หรือ Dysrhythmias ให้เห็นการเต้นของหัวใจที่ผิดปกติอย่างรุนแรงพบหลังโดนไฟฟ้าดูดได้ กระแสไฟฟ้าที่ผ่านหัวใจสามารถรบกวนทิศทางการนำไฟฟ้าของหัวใจปกติ (Electrophysiological pathway) การบาดเจ็บต่อหัวใจจะเกิดได้สองวิธีคือ ความร้อนต่อกล้ามเนื้อหัวใจ และการขาดเลือดเลี้ยงหัวใจ กระแสไฟฟ้าสลับ เช่นไฟที่ใช้ในบ้านจะทำให้เกิดอันตรายต่อหัวใจและการหายใจได้มากกว่ากระแสไฟตรง[4,20]

รายงานอื่นถึงอุบัติการณ์ของความผิดปกติของหัวใจหลังไฟฟ้าดูดเกิดได้ตั้งแต่ 14-54%[19,20] จะพบในพวกที่ถูกไฟฟ้าแรงสูงดูดและบาดเจ็บ ที่มีการ Burn ของพื้นผิว

ร่างกายมาก ความผิดปกติส่วนใหญ่ที่รายงานบ่อย ๆ คือ อัตราการเต้นหัวใจผิดปกติ หรือ Non-specific ECG changes หัวใจขาดเลือด การวินิจฉัยการตายของกล้ามเนื้อหัวใจจะตรวจหาระดับ CK elevation ซึ่งจะมีระดับสูงมากกว่าสองเท่าของค่าปกติ และมี Positive CK -MB fraction > 3% อย่างไรก็ตามการบาดเจ็บจากไฟฟ้าดูดแล้วมีการทำลายต่อกล้ามเนื้อลายก็สามารถเพิ่มระดับ CK-MB ได้ด้วยเช่นกัน ทำให้เรามีข้อสงสัยเกี่ยวกับความน่าเชื่อถือของการเพิ่มระดับของ CK-MB เพื่อใช้วินิจฉัยการบาดเจ็บต่อกล้ามเนื้อหัวใจ โดยเฉพาะในรายที่ไม่มี ECG Patterns ที่มีลักษณะเฉพาะของหัวใจขาดเลือด หรือหลักฐานของ Cardiac decompensation แต่สามารถแยกได้โดยความจริงที่ว่า กล้ามเนื้อลายจะมีการสังเคราะห์ CK-MB เกิดขึ้นใน 12-24 ชม. ดังนั้นการเพิ่มขึ้นเร็วกว่านี้หลังบาดเจ็บจะไม่เหมือนกับที่สร้างมาจากกล้ามเนื้อลาย จึงควรสงสัยกล้ามเนื้อหัวใจขาดเลือดด้วย ค่าปกติของ CK คือ 0-70 mU/ml ในหญิง 0-100 mU/ml ในชาย ส่วน MB fraction จะขึ้นสูงกว่า 3% ภายใน 9 ชม. เมื่อรับตัวไว้ผู้ป่วย 69% ที่ไม่มีการบาดเจ็บที่หัวใจจะมี CK สูงได้ถึง 640 mU/ml แต่ผลของ CK-MB จะ negative ผู้ป่วยที่มีการบาดเจ็บหัวใจควรจะต้องเฝ้าตรวจดู Monitored ตลอด เช่นผู้ป่วยอาจจะเกิด LV dysfunction แต่ ST elevation ปกติ เพราะกล้ามเนื้อหัวใจตายมักจะไม่ Transmural[19]

Lewin และคณะ[26] เชื่อว่าการบาดเจ็บจากไฟฟ้าบางครั้งทำให้เกิด Patchy necrosis ของกล้ามเนื้อหัวใจ Electrocardiographic changes การเพิ่มระดับของ CK-MB และ LV hypokinesis อาจจะพบได้ แต่คลื่นไฟฟ้าหัวใจมักจะพบแบบที่วินิจฉัยไม่ได้ (Non-diagnosis pattern) เพราะลักษณะของการบาดเจ็บของหัวใจจะเป็นการตายของกล้ามเนื้อหัวใจเป็นกลุ่ม ๆ มากกว่าตามการกระจายของเส้นเลือด Coronary artery

รายงานการศึกษาส่วนใหญ่ ไม่มีการเต้นหัวใจผิดปกติอย่างรุนแรงเกิดขึ้นในผู้ป่วยซึ่งมีคลื่นหัวใจปกติขณะแรกรับไว้โรงพยาบาล ความผิดปกติทั้งหมดที่พบได้ใน ECG 12 lead ส่วนใหญ่จะหายเป็นปกติภายใน 48 ชม.

ผู้ป่วยส่วนใหญ่ที่บาดเจ็บจากไฟฟ้าดูดด้วยไฟฟ้าแรงต่ำในบ้าน ประมาณร้อยละ 88 จะไม่ต้องนอนโรงพยาบาล เพื่อดูแลเรื่องไฟไหม้ผิวหนัง การนอนโรงพยาบาล 24 ชม. เพื่อเฝ้าดูหัวใจ จะไม่สะดวกและสิ้นเปลืองอุปกรณ์ค่าใช้จ่าย ดังนั้นจึงมี Criteria ที่ควรรับผู้ป่วยไว้ในโรงพยาบาลเฝ้าการเปลี่ยนแปลงหัวใจในรายต่อไปนี้[19]

1. Loss of consciousness
2. Documented dysrhythmia in the field
3. Abnormal ECG on admission
4. Rhythm disturbance while monitored in the emergency room
5. Severe burn (Large area of BSA)

มีผู้เสนอแนะให้ทำ Initial 12-lead ECG ถ้าปกติและการบาดเจ็บไม่มีการหมดสติหรือมีการ Burn อย่างรุนแรง ก็ไม่จำเป็นต้องรับตัวไว้ในโรงพยาบาล เพื่อเฝ้าดูความผิดปกติหัวใจ 24 ชม.

## การติดเชื้อของแผลและ Sepsis

การศึกษาของ Haberal และคณะ (ค.ศ. 1996)[21] ได้ทำการเพาะเชื้อ 1,440 ครั้ง จากผู้ป่วย 1,109 ราย โดยตรวจจากแผลไฟฟ้าดูดขณะรับตัวไว้ในโรงพยาบาลนานกว่า 15 ปี ( ค.ศ. 1979-1993) พบเชื้อได้ถึง 205 ชนิด ผลการศึกษาพบว่ามีแนวโน้มของการติดเชื้อน้อยลง (เพาะเชื้อไม่ขึ้นมากขึ้นตามลำดับทุกระยะ 5 ปี 18.8, 20.8, 22.4%) พบเชื้อ Pseudomonas มากที่สุดและพบลดลงในระยะหลัง แต่เชื้อ Proteus mirabilis และ Enterobact or cloacae ยังคงพบได้ตลอดระยะ 15 ปี ในระดับคงที่ ระบาดวิทยาของเชื้อที่เพาะได้จากรายงานอื่น ๆ คือ Staph. Aureus ร้อยละ 25-70, Pseud. Aeruginosa ร้อยละ 25-45, E. Coli ร้อยละ 4-30, Proteus mirabilis ร้อยละ 15-20, Klebsiella spp ร้อยละ 4-10, Enterobacter cloacae ร้อยละ 5-18, Enterococcus spp ร้อยละ 2-20 ส่วนเชื้อที่เป็นปัญหาคือ Pseudomonas เพราะเป็นตัวที่

ทำให้ติดเชื้อถึงตายได้

การติดเชื้อและ Sepsis ยังคงเป็นภาวะแทรกซ้อนที่พบได้บ่อยที่สุดใน burns (ร้อยละ 34-75) และเป็นสาเหตุการตายอันดับสองในอุบัติเหตุไฟฟ้าดูด[6,27] รองจาก Multiple organ failure (ร้อยละ 50) และ Cardiac arrest เนื่องจากการ Resuscitation ที่ไม่มีประสิทธิภาพก่อนที่จะมาถึงโรงพยาบาล[1,6,21]

ผู้ป่วยหลายรายจะ Contaminated หรือ Infected โดยเชื้อหลาย ๆ ชนิดก่อนที่จะมาโรงพยาบาล การให้ยาปฏิชีวนะเป็นเวลานาน ๆ เพื่อป้องกันไม่สามารถช่วยควบคุมภาวะ Sepsis ได้ จนหลังจากปี ค.ศ. 1987 เริ่มมียาที่มีประสิทธิภาพจึงสามารถกำจัดเชื้อได้ดีขึ้นมาก ซึ่งเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของ Negative wound cultures จึงมีอัตราการติดเชื้อลดลงโดยเฉพาะ Pseud. Aeruginosa, Proteus mirabilis และ Enterobactor cloacae

**Visceral organ**

การทำลายจากไฟฟ้าไม่ได้เกิดเพียงที่ผิวหนังเท่านั้น ยังรวมถึงอวัยวะภายในช่องท้องก็ถูกทำลายด้วยในบางครั้ง พร้อมกับมีการติดเชื้อแทรกซ้อนของอวัยวะภายในที่บาดเจ็บก็เกิดบ่อยในไฟฟ้าดูด ซึ่งการติดเชื้อของอวัยวะภายในนั้นเป็นสาเหตุของการตายที่พบบ่อยที่สุด[6,27] และการบาดเจ็บของอวัยวะภายในเป็นสาเหตุที่ทำให้ถึงตายได้บ่อยเช่นกัน อัตราการบาดเจ็บต่ออวัยวะภายในช่องท้องที่เกิดจากไฟฟ้าพบได้เพียงร้อยละ 0.4[28] เช่น Gallbladder, Focal hepatic necrosis, การทะลุของ Caecum, การทะลุของ Colon, การทะลุของกระเพาะอาหาร, Acute pancreatitis ที่เกิดตามหลัง Electrical burn และยังมีการผ่าศพตรวจพบว่ามีการตายของ Descending และ Sigmoid colon[6] ได้

มีรายงานการผ่าศพพิสูจน์หลังไฟฟ้าดูดพบว่ามี Submucosal hemorrhages ได้บ่อย พบกระจัดกระจายตลอดทางเดินอาหาร รวมถึง GI hemorrhage จากแผลใน Duodenum และ Stomach, Prolonged ileus ซึ่งต่อมา กลายเป็น Cholelithiasis ข้อมูลนี้แสดงให้เห็นว่าเราไม่สามารถทราบได้ถึงการบาดเจ็บต่ออวัยวะภายในที่เกิดจากไฟฟ้าดูดเลย ดังนั้นหลักการรักษาคือการตรวจหาสภาวะที่อันตรายต่อชีวิตให้พบแล้วทำการรักษาโดยไม่ประมาท

**Eye injury**

Electrothermal burns อาจมีผลที่ส่วนใดของตาก็ได้ เช่น Corneal burns, Temporary hyperemia จนถึง Third degree burns, Transient punctate, Striate, Diffuse interstitial opacities, Scar formation, Loss of corneal sensation, Corneal necrosis อาจจะมีการระคายเคืองของ Anterior chamber เช่นที่ Iris, Ciliary body, Irregular mydriasis, Miosis, Horner's syndrome, Spasm or insufficiency of accommodation[18]

เลือดออกภายในลูกตา (Intraqcular hemorrhage) และ Thrombosis, Uveitis, Retinal edema and detachment, Optic nerve atrophy ก็มีรายงานเช่นกัน ต้อกระจกเกิดจาก electrothermic injury มักจะพบข้างเดียว ในขณะที่ต้อกระจกที่เกิดจากฟ้าผ่ามักพบสองข้าง

**ตารางที่ 1** ปัจจัยที่กำหนดถึงความรุนแรงของการบาดเจ็บจากไฟฟ้า

| |
|---|
| Type of circuit |
| Resistance of tissues |
| Amperage |
| Voltage |
| Current pathway |
| Duration |
| Environmental factors |
| Surface area of contact |
| Victim's individual susceptibility to electrical current |

**ตารางที่ 2** ความต้านทานของเนื้อเยื่อส่วนต่าง ๆ ของร่างกาย

| น้อยที่สุด | ปานกลาง | มากที่สุด |
|---|---|---|
| Nerves | Dry skin | Tendon |
| Blood | | Fat |
| Mucous membranes | | Bone |
| Muscle | | |

**ตารางที่ 3** ความต้านทานของผิวหนังชนิดต่าง ๆ

| Type | | Ohm/cm$^2$ |
|---|---|---|
| Mucous membranes | | 100 |
| Vascular areas → Volar arm, Inner thigh | | 300-10,000 |
| Wet skin | Bathtub | 1,200-1,500 |
| | Sweat | 2,500 |
| Other skin | | 10,000-40,000 |
| Sole of foot | | 100,000-200,000 |
| Heavily calloused palm | | 1,000,000-2,000,000 |

**ตารางที่ 4** ระดับความเข้มข้นของกระแสไฟฟ้ากับผลต่อร่างกาย

| ผลต่อร่างกาย | Milliampere |
|---|---|
| Tingling sensation from household current | 1-2 |
| Let-go current | |
| Man | 7-9 |
| Woman | 6-8 |
| Child | 3-5 |
| Tetany (Freezing to circuit) | 10-20 |
| Respiratory arrest from thoracic muscle tetany | 20-50 |
| Ventricular fibrillation | 50-100 |

**ตารางที่ 5** กลไกของการบาดเจ็บจากไฟฟ้า

| |
|---|
| Direct contact |
| ARC |
| Flash |
| Thermal |
| Blunt trauma |

**ตารางที่ 6** กลไกการบาดเจ็บจากฟ้าผ่า

| |
|---|
| Direct strike |
| Orifice entry |
| Contact |
| Side flash, "Splash" |
| Ground current or Step voltage |
| Blunt trauma |

การเกิดต้อกระจกจะเกิดในเวลาหลายสัปดาห์จนถึง ๑๑ ปี หลังเกิดอุบัติเหตุ

## วิจารณ์

การถูกไฟฟ้าดูดเป็นการบาดเจ็บต่อร่างกายที่ยังไม่ทราบถึงกลไกที่แน่ชัด ถึงแม้การศึกษาส่วนใหญ่จะเน้นแต่เรื่องกลไกการเกิด ชนิดของการบาดเจ็บ ลักษณะแผลที่เกิดขึ้น และการรักษา แต่การบริหารจัดการความบาดเจ็บก็ยังคงเป็นปัญหาที่ยุ่งยากต่อแพทย์ ประกอบกับปัญหาในการที่ไม่ตระหนักถึงความสำคัญในการป้องกันการเกิดอุบัติเหตุไฟฟ้าในจิตสำนึกของประชาชน จึงควรมีการรณรงค์การป้องกันอุบัติเหตุไฟฟ้าดูดโดยเฉพาะช่วงที่มีฝนตกหนัก หรือน้ำท่วม หรือจัดอบรมให้กับบุคลากรอาสาสมัคร และประชาชนที่สนใจในการปฏิบัติการกู้ชีวิตเบื้องต้น ซึ่งเป็นสิ่งที่จำเป็นอย่างมาก เพราะจะเห็นได้ว่าผู้ป่วยส่วนมากจะเสียชีวิตก่อนมาถึงโรงพยาบาลเนื่องจากเกิดการหยุดของหัวใจและหายใจชั่วคราว ถึงแม้จะสามารถกลับคืนมาได้เองก็ตาม แต่ก็นานเกินไปจนเกิดการตายของสมองได้ ดังนั้นการปฏิบัติการกู้ชีวิตเบื้องต้นจะสามารถช่วยชีวิตผู้ป่วย ได้เพื่อรอเวลาให้มีการกลับคืนมาของระบบหัวใจและหายใจ หรือจนผู้ป่วยมาถึงโรงพยาบาล

การบาดเจ็บจากไฟฟ้าดูดเมื่อเปรียบเทียบกับ Bunrs ชนิดอื่น ๆ แล้วจัดว่าพบได้ไม่บ่อย ซึ่งพบได้เพียงร้อยละ 3.0-8.9 ของภาวะ Burns เท่านั้น[22] แต่หากเกิดแล้วมักจะเป็นเหตุให้เกิดการบาดเจ็บที่รุนแรงจนถึงเสียชีวิตได้ หากไม่เสียชีวิตก็อาจต้องตัดแขนขา หรือติดเชื้อจาก Burns จึงนับว่าเป็นการสูญเสียที่มีผลต่อการดำเนินชีวิตและการงาน ซึ่งทำให้เสียทั้งค่าใช้จ่ายในการรักษา และยังเกิดภาวะทุพพลภาพขาดรายได้ที่จะต้องจุนเจือเลี้ยงดูครอบครัว ดังนั้นการป้องกันจึงดูเป็นสิ่งที่ควรจะให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง จะด้วยการประชาสัมพันธ์ ประสานงานกับหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง ให้ความรู้ความเข้าใจและวิธีการป้องกันแก่ประชาชนดังที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

การรักษาทางการแพทย์ ก็จะเน้นการประเมินสภาพผู้ป่วยเมื่อแรกรับที่ห้องฉุกเฉินเพื่อแยกว่าจะต้องรับตัวไว้รักษาในโรงพยาบาลหรือเพื่อเฝ้าสังเกตอาการอื่นหรือไม่ และตรวจร่างกายอย่างละเอียดเพื่อหาร่องรอยการบาดเจ็บทั้งภายนอกและภายในที่มองไม่เห็น เช่น การบาดเจ็บของกล้ามเนื้อ ข้อ กระดูก อวัยวะภายในและหัวใจ ระดับความรุนแรงขึ้นอยู่กับ Voltage, Skin resistance, Current และ pathway ของกระแสที่วิ่งภายในร่างกาย ดังนั้นจึงควรถามประวัติของการเกิดและกลไกการเกิดด้วย เพื่อเป็นแนวทางในการประเมินถึงความรุนแรงของอุบัติเหตุ

การรักษาเมื่อรับตัวไว้ในโรงพยาบาลแล้ว จะเน้นการรักษาทางศัลยกรรมและการให้ยาปฏิชีวนะเป็นหลักเพื่อป้องกันภาวะการติดเชื้อซึ่งจะเกิดจากการตายของเนื้อเยื่อที่เกิดจาก Electrothermal heat และควรจะต้องตรวจติดตามดูอาการอย่างต่อเนื่องเพื่อเฝ้าหาการตายของเนื้อเยื่อที่มีเพิ่มขึ้นในภายหลัง เพราะการดูจากภายนอกในระยะแรกอาจจะประเมินได้ยาก ถึงแม้ในขณะทำการผ่าตัดเนื้อตายออกก็ยังประเมินด้วยตาในวันแรก ๆ ได้ยากมาก

เพราะเป็นการตายของเนื้อเยื่อที่เกิดจากความร้อน จะมีการตายจากภายในแกนกลางปริมาณมากและลดปริมาณลงตามลำดับเมื่อออกมาด้านรอบนอก ๆ ของเนื้อเยื่อ จึงควรจะทำ Serial debridement ทุกวัน

ระหว่างการเริ่มต้นประเมินการบาดเจ็บ การคลำชีพจรไม่พบอาจจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงว่ามีการทำลายของเส้นเลือดด้วย อย่างไรก็ตามการคลำชีพจรไม่พบอาจเป็นผลมาจากการหดเกร็งของเส้นเลือดเพียงชั่วคราวก็ได้ ถ้าวงจรโลหิตในแขนขาไม่สามารถฟื้นคืนได้ภายในสองสามชั่วโมง ควรคิดถึงการบาดเจ็บของเส้นเลือดอย่างรุนแรง เพราะมีแนวโน้มที่จะเกิดการทำลายต่อเส้นเลือดได้มากกว่าที่อื่น ซึ่งการตายของเส้นเลือดจะมีผลทำให้มีการตายของเนื้อเยื่ออื่น ๆ ตามหลังมาได้อีกมาก การพิจารณาตัดแขนหรือขาจึงมักจะอาศัยความรุนแรงจากการบาดเจ็บและมีการทำลายอย่างรุนแรงของเส้นเลือด

การบาดเจ็บจากไฟฟ้าดูดทำให้หัวใจมีความผิดปกติได้ตั้งแต่อัตราการเต้นผิดปกติ จนถึงหัวใจขาดเลือด ซึ่งปกติจะเกิดขึ้นขณะเกิดอุบัติเหตุ อย่างไรก็ตามบางการศึกษาแนะนำว่าความผิดปกติของหัวใจอาจจะเกิดขึ้นในภายหลังเกิดเหตุก็ได้ จึงเป็นเหตุผลที่ควรจะให้รับตัวผู้ป่วยไว้ในโรงพยาบาลเพื่อเฝ้าดูการเปลี่ยนแปลงของหัวใจอย่างน้อย 24 ชม. เพื่อติดตามปัญหาความผิดปกติของหัวใจหลังไฟฟ้าดูดโดยนอกจากจะเฝ้า Monitor ECG แล้วยังควรทำ Cardiac enzyme เพื่อหา Myocardial damage โดยเฉพาะในผู้ป่วยที่มีความบาดเจ็บอย่างรุนแรงหรือเมื่อมี Abnormal ECG เมื่อแรกรับ

กระแสไฟอาจจะผ่านอวัยวะต่าง ๆ และทำอันตรายได้ เช่น ที่หัวใจซึ่งสามารถทำให้เกิด VF หรือ Asystole และถ้าผ่านไปสมองจะทำให้เกิดการหมดสติชั่วคราว (Transient coma) และการตายโดยการหยุดหายใจ กระแสไฟที่ผ่านกล้ามเนื้อจะทำให้เกิดการหดรัดตัวเกร็งอย่างแรงซึ่งมากพอที่ทำให้เกิดกระดูกหักได้ และทำให้เกิดการเสียของเส้นประสาททั้งระยะเฉียบพลันและระยะหลังได้ (Acute and Delayed neuropathy) และถ้าผ่านไขสันหลังจะเกิด Electrical myelopathy ในภายหลัง ซึ่งอาจนานเป็นปีหลังเกิดอุบัติเหตุ จึงควรนัดติดตามผู้ป่วยเป็นระยะ ๆ หลังให้กลับบ้าน

การตรวจทางห้องปฏิบัติการ เพื่อช่วยยืนยันการวินิจฉัยหรือติดตามภาวะแทรกซ้อน เช่น Cardiac enzyme, Myoglobin, หรือการทำ Arteriography เพื่อหาเส้นเลือดที่อุดตันและช่วยตัดสินในการวางแผนการรักษา ก็เป็นสิ่งที่ทำได้ยากสำหรับโรงพยาบาลทั่วไป หรือแม้แต่โรงพยาบาลศูนย์เอง จึงควรหาตัวตรวจวัดอื่นมาช่วยประเมินแทน หรืออาจจะต้องอาศัยสิ่งตรวจพบทางคลินิกเป็นตัวช่วยยืนยันการวินิจฉัยและแผนการรักษาต่อไป ประกอบกับดังกล่าวแล้วว่า ผู้ป่วยอุบัติเหตุไฟฟ้าดูดนั้นยังมีจำนวนที่น้อยอยู่ จึงไม่คุ้มค่าที่จะมีการจัดตั้ง Lab ขึ้นมาเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์นี้

## สรุป

ไฟฟ้าดูดเป็นสาเหตุว่าทำให้เกิดการทำลายอย่างทันทีต่อระบบหัวใจและหลอดเลือด กล้ามเนื้อ และระบบประสาท และส่วนน้อยต่อระบบการหายใจ และอวัยวะภายในท้อง บางครั้งการทำลายอวัยวะใดนั้นเกิดจากอวัยวะนั้นเป็นส่วนหนึ่งของทางเดินของกระแสไฟที่ผ่านร่างกาย การประเมินในระยะเฉียบพลันควรให้ความสนใจค้นหาการบาดเจ็บที่เป็นผลจากการถูกไฟฟ้าดูดดังกล่าว และควรเฝ้าติดตามจนแน่ใจว่าไม่มี และต้องไม่ลืมคิดถึงกลไกปัจจัย และอุบัติเหตุที่เกิดร่วมด้วยเสมอ เช่น ตกจากที่สูง หรือ Blunt trauma อื่น ๆ

การประเมินผู้ป่วยยังไม่ควรเอาสิ่งตรวจพบเมื่อแรกรับตัดสินหรือวางแผนการรักษาทันที ควรเฝ้าติดตามดูอาการอย่างน้อย 48 ชั่วโมง เพื่อดูอาการของระบบประสาทเฉียบพลันให้แน่นอนเสียก่อน รวมถึงการประเมินภาวะเนื้อตายที่ต้องรีบรักษาเพื่อป้องกันการติดเชื้อและการพิจารณาตัดแขนขา ถึงแม้จะคลำชีพจรไม่ได้ ก็ต้องรอให้แน่ใจ เพราะอาจเกิดจากการหดรัดตัวของเส้นเลือดชั่วคราวได้ ดังนั้นจึงควรรอการดำเนินโรคอย่างน้อย 48

ชั่วโมงก่อน และติดตามภาวะแทรกซ้อนในระยะหลังอื่น ๆ เช่น การเกิดต้อกระจก นิ่วถุงน้ำดี อาการระบบประสาทที่เกิดตามมาทีหลัง

การติดเชื้อยังคงเป็นภาวะแทรกซ้อนที่ยังคงเป็นปัญหาที่รุนแรงในผู้ป่วยไฟฟ้าดูด อย่างไรก็ตามยาใหม่ ๆ ก็ช่วยให้มีการเพิ่มขีดความสามารถในการกำจัดเชื้อและลดอัตราการตายลงได้ การบาดเจ็บของอวัยวะภายในช่องท้องอย่างรุนแรงที่เกิดจากไฟฟ้าดูดพบได้น้อยมากแต่ก็เป็นสาเหตุที่ทำให้ตายได้หากวินิจฉัยไม่ได้หรือไม่รีบรักษาแต่เนิ่น ๆ จะเห็นได้ว่าการบาดเจ็บจากไฟฟ้าดูดมีอันตรายต่ออวัยวะหลายแห่งด้วยกัน บางแห่งก็ไม่เป็นอันตรายมาก แต่บางแห่งก็อาจทำให้เสียชีวิตได้ หากแพทย์ไม่ได้คิดถึงหรือพยายามมองหาอันตรายของอวัยวะนั้นเพื่อทำการรักษา

ในประเทศไทยยังมีการศึกษาหรือมีการเก็บรวบรวมข้อมูลของผู้ป่วยทางด้านนี้น้อยมาก เนื่องจากจำนวนผู้ป่วยที่มีอยู่น้อย และยังไม่มีการจัดระบบการเก็บข้อมูลของผู้ป่วยเพื่อให้ง่ายต่อการวิเคราะห์ หากมีการเก็บข้อมูลที่ดีแล้ว นำข้อมูลที่ได้มาศึกษาถึงกลไก การดำเนินโรค หรือระบาดวิทยาของไฟฟ้าดูด คงจะเป็นประโยชน์ต่อการรักษาและแนวทางการป้องกันต่อไปในอนาคต และสามารถลดอุบัติเหตุ การสูญเสียลงได้อย่างมาก

## เอกสารอ้างอิง


1. Peterson RA, G John. Electrical burns. In : Grabb WC, Smith JW, eds. Plastic surgery. 3rd ed. Boston : Little, Brow α company, 1979 : 489-96.
2. Baxter C. Emergency treatment of burn injury. Ann Emerg Med 1988 ; 17 : 1305-24.
3. Kunkle R. Electrical Injuries. In : Rosen P, Baker F, Barkin R, eds. Emergency medicine. St. Louis : Mosby, 1988 : 21-30.
4. Veneman TF, van Dijk GW, Boereboom E, Joore H, Savelkoul TJ. Prediction of outcome after resuscitation in a case of electrocution. Intensive Care Medicine 1998 ; 24(3) : 255-7.
5. Hussmann J, Kucan JO, Russell RC, Bradley T, Zamboni WA. Electrical injurie morbidity, outcome and treatment ratio nale. Burns 1995 ; 21 (7) : 530-5.
6. Lee RC, Gaylor DC, Bhatt D, Israel DA. Role of cell membrane rupture in the pathogenesis of electrical trauma. J Sur g Res 1988 ; 44 : 709-19.
7. Lee RC, Russo G, Kicska G. Kinetics of heating in electrical shock. Annals of the New York Academy of Sciences 1994 ; 720 : 56-64.
8. Kouwenhoven WB. Human safety and electric shock. Address to the wilmington ISA Electrical Safety Course (12-15 November 1968).
9. ten Duis HJ. Acute electrical burns. Seminars in Neurology 1995 ; 15 (4) : 381-6.
10. ten Duis HJ, Klasen HJ, Nijsten MWN, Pietronero L. Superficial lightning injuries-Their fractal shape and origin. Br uns 1987 ; 13 : 141.
11. Cooper MA. Emergent care of lightning and electrical injuries. Seminars in Neurology1995 ; 15(3) : 268-78.
12. Jaffe RH. Electropathology : A review of the pathologic changes produced by electric currents. Arch Pathol 1928 ; 5 : 839-69.
13. Bongard O, Fagrell B. Delayed arterial thrombosis following an apparently trivial low-voltage electrical injury. Vas a 1989 ; 18 : 162-4.
14. Arden GP. Lightning accident at Ascot. Br Med J 1956 ; 1 : 1450-3.
15. Cooper MA, Andrews CJ. Lightning Injuries. In : Auerbach P, ed. Wilderness medicine, 3rd ed, St. Louis : Mosby-Year-book, 1995 : 261-89.
16. Patel A, Lo R. Electric injury with cerebral venous

thrombosis. Case report and review of the literature. Stroke 1993 ; 24(6) : 903-5.

17. Farrell DF, Starr A. Delayed neurological sequelae of electrical injuries. Neurology 1968 ; 18 : 601-6.
18. Fish R. Electric shock, Part II : Nature and mechanisms of injury. Journal of Emergency Medicine 1993 ; 11(4) : 457-62.
19. Arrowsmith J, Usgaocar RP, Dickson WA. Electrical injury and the frequency of cardiac complications. Burns 1997 ; 23 (7-8) : 576-8.
20. Cunningham PA. The need for cardiac monitoring after electrical injury. Medical Journal of Australia 1991 ; 154 (11) : 765-6.
21. Haberal M, Ucar N, Bayraktar U, Oner Z, Bilgin N. Visceral injuries, wound infection and sepsis following electrical injuries. Burns 1996 ; 22(2) : 158-61.
22. Xiao J, Cai BR. A clinical study of electrical injuries. Burns 1994 ; 20(4) : 340-6.
23. Sevit S. A review of the complications of burns, their origin and importance for illness and death. J Trauma 1979 ; 19 : 358-69.
24. Parshley PF, Kilgore J, Pulito JF, et al. Aggressive approach to the extremity damaged by electric current. Am J Surg 1985 ; 150 : 78-83.
25. Levy D, Caronna J, Singer B, Lapinsky R, Frydman H, Plum F. Predicting outcome from hypoxic-ischemic coma. JAMA 1985 ; 253 : 1420-6.
26. Lewin RF, Arditti A, Sclarovsky S. Non-invasive evaluation of electrical cardiac injury. Br Heart J 1983 ; 49 : 190 -2.
27. Polk HC. Consensus summary on infection. J Trauma 1979 ; 19 : 894.
28. Di Vincenti FC, Moncrief JA, Pruitt BA. Electrical injuries. A review of 65 cases. J Trauma 1969 ; 9 : 497.