

心臟電擊傷的診斷與治療

劉開璽 楊宗翰

國軍高雄總醫院左營分院 內科部心臟內科

摘要

意外電擊傷常發生於日常工作場所以及一般家庭電器的使用過程中，除常見造成皮膚燒燙傷外，當其電流穿越身體的路徑中也可能引起相關位置器官的損傷。其嚴重度受到許多不同因素影響，包括接觸電流的強度、持續的時間、當時皮膚狀態以及是否為直接碰觸到電源等，輕症者在急診室觀察數小時後即可安全離院，但重症者常因大範圍深度皮膚燒傷及後續傷口感染而引發器官衰竭而有相當高的致死率。最常引發成人電擊傷的源頭大都是來自工作場所中的高電壓儀器設備；相反的，兒童及青少年的電擊傷卻是因為不當使用家庭電器用品所導致，雖然居家低伏特數電壓較少引起嚴重皮膚燒傷，但仍少數會影響到內部的臟器，特別是不易發現跟診斷的心臟傷害，包括各類的心律不整以及心臟肌肉收縮舒張功能受損等。大部分心臟電擊傷都可完全恢復而不會留下後遺症，但早期診斷是否有立即性嚴重心臟傷害及有效預測延遲性心律不整的發生機率都可以減少不要的心血管後遺症和醫療資源浪費。

關鍵詞：電擊傷 (Electrical cardiac injury)
心律不整 (Cardiac arrhythmia)
心肌梗塞 (Myocardial infarction)

前言

古代沒有電器用品，所以電擊傷全是因遭受閃電電擊所引起，因其帶有上千萬伏特的電壓，使得致死率相當高。直到了西元十六世紀，美國科學家班傑明·富蘭克林 (Benjamin Franklin) 發表了閃電理論與相關實驗後開啟了現代電學的研究與進展，使得現代電擊傷反而多是由工作場所或居家生活環境中的電器設備所引起，其相對閃電而言瞬間死亡率下降許多，但取而代之影響患者預後最大的因素則是當電流流經人體後產生熱能所引發的肌肉組織燒燙傷，其中關於心臟的電擊傷害最容易被醫

護人員所忽略，包括心律不整及心臟衰竭兩大類，雖然發生機率不高，但一旦發生就會有立即致命的風險。

電擊傷的致病機轉

根據歐姆定律 (Ohm's law, $I = V/R$)，電子會因為兩物體的高低電位差異 (伏特, Volt) 而產生流動，稱之為電流 (安培, Ampere)，而流經這高低電位間的路徑會因為物質本身帶有的電阻 (歐姆, Ohm) 影響而產生熱能，其單位稱為焦耳 (Joule, 1 焦耳 = 1 安培電流通過 1 歐姆電阻所產生的能量)。一般情況下，伏特數是唯一可以用儀器快速測量得知的項目，所以需要

越高伏特數才能使用的電器設備通常代表著會產生越大的電流以及熱能¹⁻⁵。

電擊傷害可以概分為兩大類，第一類是直接的傷害，包括電流影響細胞膜電位而引發肌肉痙攣及心律不整，再加上經過組織本身電阻後所產生的熱能燒傷害；第二類則是電擊後因為肢體痙攣或心律不整引發意識喪失所帶來的墜落撞擊外傷。電流對人體傷害的程度高低會受各種因素所影響，包括了電壓高低、種類（交流電或直流電）、接觸時間的長短、經過人體流動的路徑和不同組織部位所帶有的電阻大小^{1,3}。

一般大於 1000 伏特即定義為高電壓，其相對於低電壓有著較高的機率造成嚴重傷害，原因包括高溫容易導致的深度大範圍燒燙傷及急性心搏停止，而高電壓也較容易引發肢體痙攣使得患者無法及早脫離觸電電源而使得傷害時間延長（表一）。就種類而言，目前居家或工作場所的電器多為交流電，引發的電擊傷也佔絕大多數，其相對於直流電而言有著較高的機率會引發嚴重心律不整，例如致命性心室頻脈及心室顫動等，相反的直流電電擊傷比例相當少，最常見的還是舊時代就存在的閃電電擊傷，其比較不會引發肌肉痙攣，但高壓直流電仍會將人體震飛，進而引起次發性的肢體外傷。

不同的人體組織其電阻數值差異相當大，一般而言神經、血管、粘膜與心臟肌肉有著較小的電阻，相反的人體骨頭、肢體骨骼肌及脂肪組織則有著較大的電阻，所以當電流穿過骨頭時就容易產生高溫連帶引發周圍肌肉熱傷害；皮膚則比較特別，其受到濕度的影響非常大，一般狀況下的皮膚其電阻會比濕潤皮膚高，所以乾燥狀況下的皮膚電擊傷會較侷限在表面，相反的濕潤皮膚電阻較低所以比較容易引起較深部的組織傷害³（表二）。電流流經人體的路徑也對預後有著很大的影響，頭部觸電因為直接影響到腦部中樞所以致死率最高，其次是流經胸腔的電流，包括上肢到上肢、上肢到下肢或下肢到上肢，最低的是下肢到下肢的電流傷害²（表三）。

心臟電擊傷影響

電流容易經由阻力最小的組織間傳導，如血管或神經，其方向可以是橫向，如手到另一側的手，也可以是垂直向，如頭到腳而流經心臟。最常引起的兩大類心臟疾病是心律不整及心臟肌肉損傷。

心律不整是最常見的傷害，但因為沒有大型的病例統計數據，所以對於其發生率仍無定論，一般專家意見均認為發生率不高，目前

表一：電流數值高低值及可能引起危害身體的症狀

電流值 (mA)	症狀
> 0.6 mA	麻木感覺
2 - 10 mA	造成肌肉收縮而不易遠離電源
15 mA	觸電肌肉麻痺
20 - 40 mA	呼吸肌肉麻痺
40 - 90 mA	心室頻脈及心室顫動
> 100 - 200 mA	心搏停止

不同的電流數（毫安培，milliampere）會引起不同的症狀，輕度的為皮膚麻木感覺（0.6~2 mA）而引發身體反射性收縮而遠離電源；中度的為肌肉麻痺，甚至會引起呼吸衰竭（2~40 mA）；嚴重的會導致心室頻脈/顫動及心搏停止（> 40 mA）。

表二：電流流經人體組織的電阻係數

人體部位	電阻係數 (Ohm/cm ²)
粘膜 (mucous membranes)	10
浸泡而潮濕的皮膚 (soaked skin)	1200-1500
流汗而潮濕的皮膚 (diaphoretic skin)	2500
血液 (blood) / 神經 (nerve)	15000 - 20000
一般狀況下的皮膚 (most skin)	300-40000
心臟肌肉 (cardiac muscle)	55000
脂肪組織 (fat)	127500
肢體肌肉 (skeletal muscle)	132000
腳掌 (sole of foot)	100000-200000
結繭的手掌 (calloused palm)	1000000-2000000
骨頭 (bone)	1660000

人體各處組織電阻不同，小電阻係數的是粘膜組織及潮濕皮膚（10~2500 Ohm/cm²）；中電阻為一般狀況皮膚、血液、神經及心臟肌肉（15000~55000 Ohm/cm²）；高電阻為脂肪組織、肢體肌肉、手腳掌及骨頭（127500~1660000 Ohm/cm²）。

只有少數對於此類心臟電擊傷後引發心律不整的病例報告。最常見的心律不整是竇室頻脈 (sinus tachycardia) 及心室早期收縮 (ventricular premature contraction)，但其他類型如心房顫動 (atrial fibrillation)、心室頻脈 (ventricular tachycardia) 和心室顫動 (ventricular fibrillation) 也有數例被發表過。就電流的種類而言，直流電常需相當高的電壓才會影響心律，例如閃電的高電壓常會直接引發急性心搏停止 (acute cardiac arrest)；相反的，小至 50-100 毫安培電量的低電壓交流電就足以引發致命心律不整，最嚴重程度是引發心室顫動而需緊急心肺復甦術 (cardiopulmonary resuscitation) 加上心臟整流術 (cardioversion)。其他常見但較良性的心律不整包括不同程度的房室傳導阻斷 (atrioventricular block) 及 QT 段延長等。其引發的可能機轉最被大家所接受的有三個：第一是單點的心肌受傷壞死而形成非正常的節律點，第二是電流影響到鈉 - 鉀 -ATPase 通道的濃度高低，而第三是電流可能會影響到心肌細胞膜本身的通透度，以上都可能引發不正常的心臟細胞電氣活動^{1,4}。

電擊傷引發心臟肌肉受傷也有著多種可能機轉，最為人理解的莫過於直接的電流接觸再加上組織本身的電阻所轉換出來的熱能引發的心臟肌肉燒燙傷；但仍有其他可能的原因，包括電流會引起心臟冠狀動脈痙攣或血管內皮壞死形成急性血栓而引發類似心肌梗塞的傷害，最常影響的血管是較靠近胸壁的右側冠

表三：電流經不同人體途徑的電阻及產生可能危害性電流 (大於 100mA) 所需之電壓伏特數

路徑	電阻 (歐姆)	電壓 (伏特)
手臂到另側手臂， 乾燥皮膚	125000 - 500000	12500 - 50000
手臂到另側手臂， 潮濕皮膚	1000 - 20000	100 - 2000
手臂到腳	100 - 500	10 - 50

不同狀態人體途徑存在不同電阻，越高的電阻需越高的電壓才會造成傷害。高於 100 伏特即可流經潮濕的兩側手臂造成傷害，因會經過胸腔與心臟，容易有較高的傷害；而大於 12500 伏特的高電壓才會引起乾燥狀態兩側手臂間電流。而小至 10-50 伏特即可產生電流流經普通狀態手臂皮膚到腳，但相較於手臂到手臂途徑較不會有致命影響。

狀動脈，特別是末端的血管分枝，另外因為冠狀動脈血流減少也會影響到竇房結及房室結的功能而造成心律不整，如房室阻斷；非直接電擊所引起的可能原因是因跌落引起的胸腔撞擊或病患經過心肺復甦術後所引起的心臟肌肉受損^{1,2,4}。

如何早期診斷電擊傷是否造成心臟肌肉受損是相當困難的，因為症狀通常並不明顯，而病患也不太會直接表達出胸痛或胸悶的症狀，所以急診室第一時間的心電圖檢查是絕對必要的，需特別注意是否有暗示心臟肌肉受損的電氣表現，包括 ST 區段的上升或下降以及 T 波倒置等；急診心肌酵素檢驗也容易受到其他因素加重影響，如大量體液流失或休克等都可能造成次發性的心肌受傷，所以無法直接用於預測其心肌受損的嚴重度。另外還有其他的方法，包括運用心臟超音波或心臟核磁共振攝影去找尋是否有局部的心肌運動功能受損或心肌纖維化的存在也可以用來診斷是否有心臟肌肉受損，甚至也可以早期發現罕見的併發症，譬如可能會快速影響血液動力學穩定度的出血性心包膜炎等。一般而言，電擊傷引起的心肌受傷常是自限性的，絕大部分都可以痊癒，只有少部分會造成類似心肌梗塞傷害後慢性心臟衰竭的後遺症^{1,4,5}。

電擊傷現場處置

針對遭遇到電擊傷的病患處置應迅速，包括三個步驟：首先是幫助病患盡快遠離觸電電源，包括使用乾燥及不導電的工具協助離開電源至少 2 到 3 米，因為極高壓的電流仍可在無肢體接觸的情況下造成觸電者二次傷害，甚至施救者自身也可能會受傷；第二是緊急評估生命徵象，必要時先施行心肺復甦術，特別是面對年輕的族群及目擊觸電倒地的患者時，如能儘早接受基本或高階心肺復甦術的話皆能有非常好的預後，而如果事故現場是集體遭受到電擊傷的話，最先要搶救的是已經喪失意識的患者，因為如上所述早期的心肺復甦術會有非常好的長期預後，而那些非第一時間接受治療但意識清楚病患並不會因為短暫的治療延誤而遭

受不可逆轉的心臟傷害^{1,4,5}；最後是緊急後送到可處理此類電擊燒燙傷患者的醫院，運送的過程要注意無論其是否為日擊嚴重電擊傷的病患一律應先當成可能脊椎神經受傷的病患來處理，應先行頭部頸椎固定術後再行搬動^{1,2,3}。

電擊傷初期急診處置

而到了急診室後醫護人員需針對病患進行全面性的評估及治療，以下是建議的處理原則：

- 一、需協助病患除去身上所有衣物以完整檢視電流接觸到皮膚的入口及出口，以及燒燙傷的範圍和嚴重度，之後覆蓋以無菌紗布並注意應避免低體溫的發生。嚴重的傷口在必要時需做焦痂部分筋膜切開術以治療腔室症候群避免患處肢體缺血性壞死。
- 二、病患皆需接受 12 導程心電圖檢查，特別是那些曾遭遇短暫意識喪失的病患，如此可初步排除立即性的心律不整及決定是否需要持續性的心律監測。
- 三、因病患皮膚常有大小不同程度的缺損使得體液容易流失，故大量液體的補充是絕對必要的，另外也可以預防因肌肉受損其肌蛋白釋出所引發的後續腎功能受損，如果是大範圍的燒傷一般建議在初到急診室第一小時內給予每公斤體重 20-40 毫升液體補充以保持尿液每小時至少 50-100 毫升⁵。但對幼童的體液補充就得非常小心，因為與成人比較起來他們比較容易出現因水分過多而產生腦水腫的後遺症。
- 四、也要顧及其他器官的傷害，特別是骨頭的壞死，因為它是身體中電阻值最高的器官，所以最容易受到熱能傷害；另外呼吸系統也要留意，包括控制呼吸的腦幹及橫隔膜肌肉都可能因為電擊而受到抑制，進而引發呼吸衰竭。

心臟照護及監測

假使一位平時無慢性或重大疾病病患遭受非高伏特數電壓電擊傷害後，身上無明顯傷口、事發當時無意識喪失以及第一次心電圖無

異常發現，一般建議可在急診留觀 4 小時並接受第二次心電圖複查確認無變化後安全離開醫院，因為之後發生延遲的心臟併發症的機率相當低^{5,6,7}。但如果病患現場有發生意識喪失或事發當時並無其他日擊者，則應預設有異常的心律不整發生的可能，建議至少安置於加護病房持續心率監測 24 小時以上。

故可於急診留觀後即安排離院的病患條件建議如下⁷：

- 一、病患完全無意識喪失。
- 二、病患留觀 4 小時且持續無症狀。
- 三、初始及 4 小時後的心電圖皆無異常。
- 四、遭受電擊傷的電壓在 220-240 伏特以下。

相反的，應強烈建議病患住院接受持續心臟監測的條件如下^{6,7}：

- 一、曾發生意識喪失。
- 二、心電圖或心率監測器曾發現心律異常。
- 三、遭受高電壓（大於 220-240 伏特）或有其他器官受損，如大範圍皮膚損傷以及骨頭壞死等。
- 四、因遭受電擊而引發撞擊傷且懷孕大於 20 周的婦女容易引發胎盤剝離，所以應接受至少 4 小時以上的胎心音監測，而如果孕婦本身就有慢性心血管疾病則建議至少留院觀察 24 小時以上。
- 五、無法清楚表達症狀的嬰幼兒也應住院接受至少 24 小時的監測。

除了心電圖以外，於急診抽血檢驗病患心肌酵素酶是否能用來診斷心肌受損及是否需要住院持續接受心臟監測一直是大家討論的話題，其中肌酸磷化酶-MB 同功酶 (creatin kinase-MB) 已經被證實無良好的參考價值，因為肢體他處的骨骼肌肉電擊傷也會使得其數值升高⁸。後來心臟肌鈣蛋白如 troponin I 或 troponin T 檢查在急診室普及後，因為對心臟有較高的專一性，所以就廣泛被應用在電擊傷病患身上，假使檢驗數值升高就可被高度懷疑可能心肌受損而後續可能有致命心律不整或心臟衰竭發生，因此就應建議病患住院監測，

但兩者之間敏感度、檢驗危險臨界值 (critical value) 跟一般心肌梗塞有無差別尚需大型的研究來證實，目前臨床應用上仍與一般心肌梗塞檢驗危險參考值無異。

治療方面目前建議仍與一般心肌梗塞或心臟外傷事件無異，針對所引起的不同傷害來處置，如有心電圖 ST 段上升或下降、心室頻脈或顫動或房室傳導阻斷則需進行冠狀動脈血管攝影以排除血管剝離或血栓，甚或進行支架置放、血栓清除或暫時性心律調節器；如出現竇性頻脈併低血壓則需進行胸前心臟超音波以排除心包膜填塞，甚或進行心包膜積液引流；藥物方面則視情況而定，心室頻脈或顫動、心房顫動可用抗心律不整藥物，如心肌受傷進行血管支架置放或血栓清除術後則需短期抗凝血、長期抗血小板藥物或再加上冠心症標準藥物治療，如乙型交感神經阻斷劑 (β -Blocker)、血管張力素轉換酶抑制劑 (ACEI) 或血管張力素 II 型受體拮抗劑 (Angiotensin II receptor antagonist) 亦可能對心肌功能回復有幫助，但目前尚缺大型的研究來證實。

預防

電擊傷的最佳治療其實就是預防它的發生，包括在工作場所對會有觸電疑慮的相關機械操作或維修皆需依循標準的安全操作手冊來執行，包括穿著完整的防護裝備及所有人員都按照表定步驟進行，如此才能避免因缺少某個步驟，例如未完整斷電進而引發觸電傷害發生；另外也要訓練工作人員基本心肺復甦術的施予，包括自動體外心臟電擊去顫器的操作都要熟練，如此才能在第一時間逆轉致命性心律不整。

居家電器的使用及安裝也要小心，例如避免在潮濕的環境及皮膚狀況下使用電器用品以及安裝高電壓電器用品時需使用橡膠手套等以避免觸電，另外對年幼兒童的電器使用教育也相當重要，如此才能避免傷害事件發生。

結論

雖然一般電壓電擊傷絕大部分並不會造成致命性的傷害，但仍有少數會引發嚴重心律不整或心肌受傷，甚至造成立即性的心搏停止，所以仍不可輕忽。病患於急診室初步心電圖及病史詢問是重要的關鍵，如果有意識喪失，心電圖異常或心肌酵素數值升高任一項，都必須住院接受至少 24 小時加護病房心律監測。而預防勝於治療，只要遵守相關電器操作及維修的安全程序就可以完全避免電擊傷害的發生。

參考文獻

1. Waldmann V, Narayanan K, Combes N, Jost D, Jouven X, Marijon E. Electrical cardiac injuries: current concepts and management. *Eur Heart J* 2017; 142: 1-8.
2. Leibovici D, Shemer J, Shapira SC. Electrical injuries: current concepts. *Injury* 1995; 26(9): 623-7.
3. Koumbourlis AC. Electrical injuries. *Crit Care Med* 2002; 30(11): 424-30.
4. Kobernick M. Electrical injuries: pathophysiology and emergency management. *Ann Emerg Med* 1982; 11(11): 633-8.
5. Arnoldo B, Klein M, Gibran NS. Practice guidelines for the management of electrical injuries. *J Burn Care Res* 2006; 27(4): 439-47.
6. Fish RM. Electric injury, part III: cardiac monitoring indications, the pregnant patient, and lightning. *J Emerg Med* 2000; 18(2): 181-7.
7. Bailey B, Gaudreault P, Thivierge RL. Experience with guidelines for cardiac monitoring after electrical injury in children. *Am J Emerg Med* 2000; 18(6): 671-5.
8. Chandra NC, Siu CO, Munster AM. Clinical predictors of myocardial damage after high voltage electrical injury. *Crit Care Med* 1990; 18(3): 293-7.

Electrical Cardiac Injuries: Diagnosis and Treatment

Kai-Hsi Liu, and Tsung-Han Yang

*Division of Cardiology, Department of Internal Medicine,
Kaohsiung Armed-Forces General Hospital, Tsoying branch, Kaohsiung, Taiwan*

Electrical injuries are often encountered both in occupational setting for adults and also household setting for children. It leads to skin burn and possible internal organ damage on the electrical current pathway. Life-threatening burn injuries are rarely caused by household low-voltage electrical appliances, but the low voltage current still occasionally leads to cardiac arrhythmia and myocardial injury. Early prediction and assessment the cardiac risk after electrical injury is a pivotal issue that saves medical expense and human lives. (J Intern Med Taiwan 2019; 30: 299-304)