

전시화상 환자의 수액 투여량에 관한 고찰

한일병원 정형외과

〈지도 : 이선호 · 이은우〉

김 동 현

= Abstract =

Clinical Study for the Extent of Burn and Fluid Therapy in the Patients with Electrical Burn

Dong Heon Kim, M.D.

Department of Orthopedic Surgery, Hanil Hospital, Seoul, Korea

(Director: Sun Ho Lee, M.D. and Eun Woo Lee, M.D.)

Electrical burns constitute a unique type of thermal injury. With the passage of high tension current through body surface, 2,500 to 3,000°C heat was generated, and lead to coagulation of blood vessels, nerves, muscles, skin and other structures. Therefore, electrical burn differs from thermal burn in the point of extent, degree, fluid and electrolytes therapy. From February, 1979 to April, 1982, clinical study was performed in 17 patients with electrical burn of more than 20%, and formula used in thermal burn was modified, further then this modified formula was applied to the fluid and electrolytes therapy.

The brief summary of observations were as follows:

1. Fluid loss below the necrotic limb was negligible, and only cut surface between the necrotic limb and viable limb was regarded as actual fluid loss area.
2. In many cases, amputation of extremities in electrical burn was inevitable due to irreversible changes in deep structures.
3. Amputation stump was not well fitted in most cases due to multiple skin damage and deep tissue injury in different levels of extremities.

Key Words : Electrical burn, Extent, Degree, Fluid and electrolytes.

I. 서 론

전기화상은 일반 열성화상과는 달리 사지를 주로 침범하며 조직 괴사가 심부에까지 초래됨으로 절단을 시행하는 경우가 많다. 고압전류에 의한 손상은 전류의 흐름에 대한 저항에 의하여 형성되는 2,500°C ~ 3,000°C의 열에 의하여 발생한다^{11,12)}. 피부, 입과, 혈관의 응고괴사(coagulation necrosis) 및 그밖의 조직 전체에 대한 탄화화상(charred burn)을 일으키므로 화상의 범위와 정도 그리고 수액 및 전해질 요법에 있어서도 일반 열성화상과

는 다른 점이 많다.

저자는 한일병원 정형외과에서 1979년 2월부터 1982년 4월까지 43례의 전기화상후 사지 절단술을 시행한 26명의 환자중에서 Land & Browder 방법에 의하여 총표면화상범위가 20%이상되는 성인 16례와 10%이상되는 소아 1례에 대하여 Land & Browder 방법을 일부 수정하여 전기화상에서의 실질화상범위의 측정 방법을 공식화하여 치료에 응용코져 임상관찰 하였다.

II. 재료 및 방법

1. 연령 및 성별 분포

12세에서 52세까지의 분포로 20세에서 40세까지의 14례로 가장 많았고 1례에서만 여자였다.

2. 전류형 및 전압

7례에서 모두 교류였으며 1,000V 이하의 저압전류로 인한 손상이 1례였고 1,000V 이상의 고압전류로 인한 손상이 16례이었다.

3. 전기화상에서의 실질 화상범위 측정방법

일반 열성화상에서는 Lund & Browder 방법(Fig. 1)에 의하면 상지 전체에서는 9.5% 정도이나 전기화상에서는 상지에서 입구(inlet)가 액와부인 경우 상박, 주와(cubital fossa) 완관절부의 동맥이 침범되어 그 말단부에서 옹고괴사(coagulation necrosis)가 오는데 실질화상범위의 측정에는 괴사된 사지의 이하 부위를 화상범위에서 제외하고 활성조직(viable tissue)과 조기감압, 근막절개술(early decompressive fasciotomy)에 의해 결정되는, 비활성조직의 경계부위의 단면을 화상범위로 계산하였으며 그 산출근거는 신장과 체중에 의하여 결정되는 계산도표(nomogram)로 측정된 체표면적을 이용하여 계산한바 다음과 같다

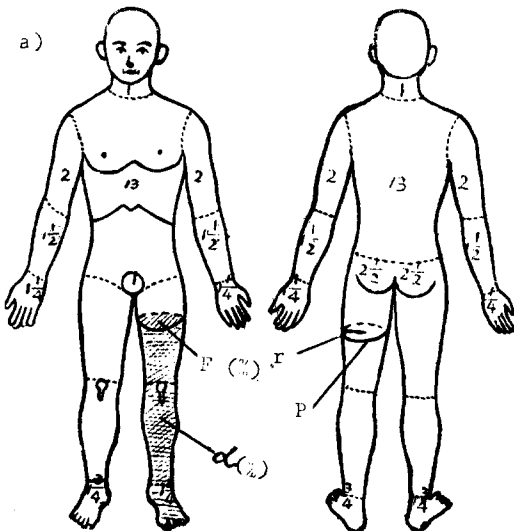


Fig. 1. a) Lund and Browder charts. These charts permit a rather accurate method for determining percentage of body surface involved. b) Relative Percentage of Areas Affected by Growth (Age in Years).

Table 1은 체표면적을 1.7m²로 계산한 정상 성인의 각 사지의 괴사된 이하 부위의 총화상 범위와 활성조직과 비활성조직의 경계부위 단면의 화상 범위를 비교한 측

부위	년령	신생아	1.	5.	10.	15.	성인
두	부	19%	17.	13.	11.	9.	7.
경	부	2	...	...	...	...	...
구간전면		13	...	...	...	...	...
구간후면		13	...	...	...	...	...
둔	부	5	...	...	...	...	...
외 음 부		1	...	...	...	...	...
상 박		8	...	...	...	...	...
전 박		6	...	...	...	...	...
손		5	...	...	...	...	...
대 퇴		11	13.	16.	17.	18.	19.
하 퇴		10	10.	11.	12.	13.	14.
발		7	...	...	...	...	...

전기화상에서의 실질화상범위 (T)=s-α+F

$$\begin{aligned}\beta &= \pi r^2 \\ &= \pi \left(\frac{P}{2\pi} \right)^2 \\ &= \frac{P^2}{4\pi} \\ &= \frac{P^2}{12.6}\end{aligned}$$

$$\therefore F = \frac{B \left(= \frac{P^2}{4\pi} \right)}{Q} \times 100(\%)$$

S : Lund & Browder 방법에 의한 전체화상범위(%)

α : 괴사된 사지의 화상범위(%)

F : 괴사된 사지에서 경계부위 단면의 화상범위(%)

Q : 체표면적 (m²)

r : 사지 단면의 반경

P : 괴사된 사지에서 활성조직과 비활성조직 경계부위의 단면의 둘레(m)

β : 각 사지의 경계부위에서의 단면의 fluid loss되는면적 (m²)

Table 1. Comparison with total surface burn and true burn extent (cut surface) of necrotic limb in electrical burn.

사 지	P (m)	β (M ²)	S (%)	F (%)
상박근위부	0.3	7.1x10 ⁻³	9.5	0.4
주 관 절 부	0.25	5.0x10 ⁻³	5.5	0.3
완 관 절 부	0.17	2.3x10 ⁻³	2.5	0.1
대퇴근위부	0.5	20.0x10 ⁻³	14	1.2
슬 관 절 부	0.35	10.0x10 ⁻³	8.5	0.6
족 관 절 부	0.2	3.2x10 ⁻³	3.5	0.2

정치로서 단면의 화상 범위는 실질화상 범위에 크게 기여하지 못하는 것으로 나타났다.

Table 2. Burn extent, fluid requirement, electrolytes and serum protein in electrical burn. A/E; above elbow, B/E; below elbow, A/K; above knee, B/K; below knee

Case	Total surface burn & fluid requirement	Amputation level	True Total burn extent & injected fluid	Electrolytes & serum protein		
1	1) 20% 2) 4,200ml	A/E, Rt	1) 11.5% 2) 2,000ml	Na: 141 mEq/L K: 4.7 mEq/L Cl: 101 mEq/L Pr.: 6.3 mg% Al: 3.6 mg%		
2	1) 20% 2) 4,920ml	B/E, both	1) 12% 2) 2,500ml	Na: 141 Pr: 6.3	K: 4.7 Al: 3.6	Cl: 101
3	1) 20% 2) 4,440ml	B/E, Rt	1) 15% 2) 2,500ml	Na: 136 Pr: 6.0	K: 4.5 Al: 3.2	Cl: 105
4	1) 21% 2) 4,730ml	A/E, both	1) 8% 2) 3,500ml	Na: 129 Pr: 6.4	K: 4.7 Al: 3.9	Cl: 94
5	1) 22% 2) 4,680ml	A/E, both	1) 8% 2) 2,250ml	Na: 135 Pr: 6.2	K: 5.2 Al: 4.1	Cl: 103
6	1) 25% 2) 4,500ml	B/E, Rt	1) 19.5% 2) 3,500ml	Na: 132 Pr: 5.6	K: 4.2 Al: 3.9	Cl: 100
7	1) 20% 2) 2,800ml	B/K, both	1) 8% 2) 2,500ml	Na: 131 Pr: 6.2	K: 4.3 Al: 3.3	Cl: 95
8	1) 28% 2) 5,248ml	B/E, both	1) 19% 2) 3,000ml	Na: 137 Pr: 6.2	K: 4.6 Al: 4.1	Cl: 100
9	1) 10% 2) 2,625ml	Elbow disarticulation, Rt	1) 4.5% 2) 1,500ml	Na: 133 Pr: 5.6	K: 4.3 Al: 3.2	Cl: 99
10	1) 21.5% 2) 5,250ml	B/E, both	1) 13.5% 2) 2,000ml	Na: 127 Pr: 6.5	K: 5.2 Al: 3.4	Cl: 98
11	1) 22% 2) 4,068ml	B/E, both	1) 13.5% 2) 2,000ml	Na: 138 Pr: 6.3	K: 4.6 Al: 4.0	Cl: 106
12	1) 30% 2) 5,720ml	B/E, Rt	1) 24% 2) 4,750ml	Na: 129 Pr: 4.5	K: 3.1 Al: 3.2	Cl: 84
13	1) 28% 2) 5,080ml	B/E, both	1) 6% 2) 3,500ml	Na: 135 Pr: 6.9	K: 4.6 Al: 3.2	Cl: 103
14	1) 25% 2) 4,900ml	B/E, both BK(Rt) A/K(Lt)	1) 3% 2) 2,000ml	Na: 135 Pr: 5.9	K: 4.0 Al: 3.0	Cl: 97
15	1) 20% 2) 4,400ml	B/E, both	1) 6% 2) 2,000ml	Na: 135 Pr: 6.4	K: 4.0 Al: 3.6	Cl: 98
16	1) 31.5% 2) 5,655ml	B/E, both	1) 16.5% 2) 2,500ml	Na: 128 Pr: 5.5	K: 5.1 Al: 4.0	Cl: 96
17	1) 20% 2) 4,400ml	A/E, Lt	1) 12.5% 2) 3,250ml	Na: 128 Pr: 5.7	K: 4.7 Al: 10.5	Cl: 105

17명의 환자에 대한 임상적 관찰

Table 2에서 사지 절단술을 시행한 17명의 환자에서 실질화상 범위를 계산한 결과, 범위는 3%에서 24%까지였고, 10%이하가 8명, 10%에서 20% 범위가 8명, 20%

이상인 1명이었다.

Table 2에서 보는 바와 같이 실질 화상면적에 의한 수액 요구량은 대개 총화상범위에서 요구되는 양의 50% 내지 70% 정도를 투여하였는데 섭취량과 배설량의 균형이 유지되었고 전해질 및 혈중단백질의 측정결과 실질화

상 범위가 24%였던 1례를 제외하고는 별다른 임상적인 의미가 없었다.

전기화상에서는 수상시 심부 조직의 괴사와 다발성 피부손상을 보이고 흔히 초기에 광범위한 감압 근막절개술(decompressive fasciotomy)을 시행한 후 일차적으로 개방성 절단술을 시행하는 경우가 대부분이었으며 수차례의 단단성형술 및 피부이식술을 필요로 하였다. 이로 인하여 절단지가 원하는 이상적인 지장(肢長)을 유지하지 못했고, 정도가 다양한 피부결손과 부적합한 절단면 때문에 의지(prosthesis)의 착용이나 기능적인 면에서 많은 문제점이 있었다.

III. 고 찰

1. 전기 화상의 침범정도

전기화상은 일반 열성화상과는 달리 주로 전기화상을 입은 혈관 지배하의 심부조직에 초기 손상 정도를 잘 알 수 없는 불규칙적이고 진행성인 괴사를 일으키는 것이 특징이다.

전기화상으로 손상받은 부위의 소견을 조성래, 이선호, Luce^{2,12)}, Peterson^{2,13)}, 등은 (1) 중앙의 괴사부 혹은 전류점 (central zone of necrosis or current marking) (2) 괴사부를 둘러싸는 회백색 부분(surrounding gray white region of necrosis) (3) 응고괴사된 중앙부 주위부

분(peripheral areola of central coagulation necrosis)으로 나누고 중앙의 두 부분은 활성조직(viable tissue)이 거의 없다고 하였는데 저자도 대부분의 경우에서 유사한 소견을 보았다(Fig. 2,3).

전류에 접촉되는 순간 전류에 대한 저항으로 발생되는 열의 효과는 Joule's effect라 하는데 수식으로 표현하면 $J=0.24 I^2 R$, J=열량, I=전류(amperage), R=저항(resistance)과 같다.

이때 열량은 2,500°C 내지 3,000°C의 순간열이 우리 몸에 접촉되는 순간 발생하여 혈관의 응고(coagulation)와 신경마비, 근육의 강직성 구축(tetanic contracture)

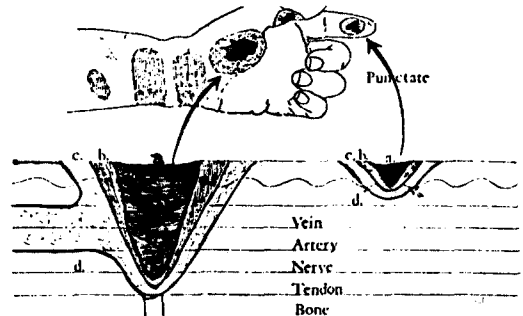


Fig. 2. Schematic illustration of the different degrees of electrical burn a: central zone of complete necrosis b: surrounding gray-white region of necrosis c: peripheral areola of partial coagulation necrosis

Fig. 3. 24 years old male patient was burned by 22,000 volts.

(A) complete necrosis and charred burn below the elbow joint (left). (B) Necrosis of vessel, nerve and deep musculature was revealed after early decompressive fasciotomy. (C) Vascular supply above the wrist joint was improved after early decompressive fasciotomy (right).

을 일으켜 전원에서 손을 댈수가 없어 중대한 손상을 입게 되는 것이다.

2. 병리조직 변화

수상된 부위의 주된 조직 변화⁸⁹⁾는 응고괴사이다. 혈관에서 중막(media)이 가장 심한 손상을 받으며 동맥내막(intima)은 혈류의 냉각효과에 의하여 보존된다. 또 동맥중막의 2 차적인 출혈로 혈전증이 발생하여 지연조직괴사(delayed tissue death)를 보인다.

말초신경의 fragmentation으로 Schwann's sheath 의 파괴와 핵(nucleus)의 융합이 일어난다. 그리고 전체 근육의 강직성 구축(tetanic contracture) 및 관절의 아탈구(subluxation)를 일으킬 수 있다.

3. 수상 당시의 소견

수상당시 다음과 같은 변화를 관찰할 수 있었다. 첫째는 혈류 및 신경 지배가 완전 차단되어 그 이하 부위가 탄화화상을 동반하며 사지관절 및 수지, 족지부의 굴곡변화를 보이는 경우인데 특히 수부 및 완전관절부의 손상이 가장 많았다.

전류가 수부를 통해 상지를 통과할때 근육의 강직성^{10,11,12)} 구축이 야기되고 이로 인하여 관절굴곡이 일어나면서, 신체부위중 저항이 적은 완관절부, 주관절부 및 액와부가 근접되어 있기 때문에 동시에 다발성 손상을 입는 경향을 보였다.

둘째는 수상당시 심한 종창(swelling)과 더불어 감각손실(sensory loss), 건조하고 냉한 소견을 보였다(Fig.3).

4. 응급 치료

대개 사지를 침범한 경우 거의 모든 경우에서 조기감압 근막절개술^{5,6)}(early decompressive fasciotomy)을 진단 및 치료 목적으로 시행하였다. 특히 심한 종창과 냉하고 건조한 피부 소견을 보이는 경우에 24시간 이내에 시행한 경우 근육의 색깔이 창백하고 주로 동맥 순환이 차단되었고 미약한 측부혈행(collateral circulation)이 인지되었으나 결국 점진적인 사지의 괴사를 보여 절단술을 시행하였다. 그러므로 실지 절단부위 및 실질 화상 범위를 측정하는데 있어서 감압 근막절개술에 의한 직접적인 조직관찰이 중요한 것으로 사료되며 압박된 혈관의 혈액 순환을 호전시켜 더 이상의 조직괴사를 방지하여 보다 원위부에서 절단 할 수 있는 경우가 많았는데 저자의 경우 10례에서 그러하였다.

5. 화상범위와 수액 및 전해질

전기화상 환자의 화상 범위에 대한 측정에 있어 종래의 열성 화상에 사용하던 방법으로서는 불충분하다고 생

각되어 전기화상 환자의 화상 범위를 측정하는 방식을 도출해 내려고 시도 하였다. Table 2에서 보는 바와 같이 Lund & Browder 방법에 의하여 총화상범위가 20%를 초과한 성인 16례와 10%이상의 소아 1례에서 24시간 이내의 수액 요구량, 실지투여량, 전해질 및 혈중 단백질을 측정된 결과 총화상 범위가 30%였던 1례에서만 전해질 및 단백질의 불균형을 보였고 나머지 16례에서는 임상적 의의가 없었는데 그 이유는 화상과 동시에 혈관의 응고괴사로 인하여 손상된 말단부는 일반 열성 화상과는 달리 수액손실(fluid loss)이 없기 때문인 것으로 생각된다.

사지의 괴사된 이하 부위는 화상범위에서 제외하고 경계부위의 단면을 화상범위로 계산하여 실질화상범위(T)=S-a+F와 같은 공식을 유도할 수 있었고 전기화상에서 이의 공식을 적용함이 체액손실과 수액 공급에 유용할 것으로 생각된다. 저자는 상기 공식에 의하여 17명의 환자에서 실질화상범위를 측정하였는데 1례에서만 24%였고 나머지는 모두 20% 이하였다(Table 2). 또 24시간 이내의 전해질 및 혈중 단백질을 측정된 결과 실질화상 범위가 24%였던 1례에서만 불균형을 보였는데 이것은 Baldridge 등이 주장한 바와 같이 수상당시 피부임파 및 혈관의 응고로 혈장손실(plasma loss)과 전해질 불균형(electrolytes imbalance)을 최소한으로 감소시키므로 큰문제를 초래하지 않는다는 보고와 일치하였다. Table 2에서 전체 실질화상범위의 계산에 있어 괴사된 사지의 경계부위 단면을 편의상 포함 시키지 않았는데 Table 1의 실험에서와 같이 사지의 둘레(circumference)가 가장 큰 대퇴근위부에서 괴사가 있을 경우에도 전체 실질화상 범위에는 크게 영향을 주지 않는 것으로 나타났다.

IV. 결 론

한일병원 정형외과에서 1979년 2월부터 1982년 4월까지 43례의 사지 절단술을 시행한 26명의 환자 중에서 총화상 범위가 20%이상 되는 성인 16례와 10%이상 되는 소아 1례에 대한 임상적 관찰 및 전술한 공식에 의하여 실질화상 범위를 측정하여 수액 및 전해질 요법에 적용하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 저자는 종래의 열성화상에서의 화상범위 측정방식을 일부수정하여 전기화상에서 실질화상 범위를 측정하는 공식을 유도하여 수액 및 전해질 요법에 임상적용하였던바 열성화상시의 수치대로는 과다한 수액 및 전해질의 투여를 하게 된다는 것을 확인하였다.

2. 전기화상은 주로 사지의 심부 조직을 침범하여 불가역적인(irreversible)조직괴사를 초래하여 사지의 절단

을 시행하는 경우가 많았다.

3. 대부분의 경우 특히 하지의 단단부(amputation stum)가 의지(prosthesis)의 작용에 적합치 않은 경우가 많았는데 이것은 수상시 다발성이고 피부손상 정도 및 위치가 다른 심부 화상이 많았기 때문이었다.

REFERENCES

- 1) 이원기, 이선호 : 전기화상환자 171례에 대한 관찰. 대한정형외과학잡지 제 8권 제 1호 : 19-28, 1973.
- 2) 조성래, 이선호 : 전기화상에 대한 임상적 고찰. 대한정형외과학회지 제 15권 제 3호 : 553-558, 1980.
- 3) Artz, C.P. : *Changing concepts of electrical injury. Am. J. Surg.*, 128:600-602, 1974.
- 4) Artz, C.P. : *Electrical injury simulates crush injury. Surg. Gynecol. Obstet.*, 125:1316, 1967.
- 5) Baxter, C.R. : *Present concepts in the management of major electrical injury. Surg. Clin. N. Amer.*, 50:1401-1417, 1977.
- 6) Burke, J.F., Quinby, W.C., Bondoc, C., McLaughlin, E. and Trelstad, R.L. : *Patterns of high tension electrical injury in children and adolescents and their management. Am. J. Surg.*, 133:492-497, 1977.
- 7) Clayton, J.M., Hayes, A.C., Hammel, J., Boyd, W.C., Hartford, C.E. and Barnes, R.W. : *Xenon-133 determination of muscle blood flow in electrical injuries. J. Trauma*, 17: 293-298, 1977.
- 8) Hunt, J.L., Mason, A.D., Masterson, T.S. and Pruitt, B.A. : *The pathophysiology of acute electric injuries. J. Trauma*, 16: 335-340, 1975.
- 9) Kragh, L.V. and Erich, J.B. : *Treatment of severe electric injuries. Am. J. Surg.*, 102:419-427, 1961.
- 10) Lewis, G.K. : *Burns from electricity. Ann. Surg.*, 131: 80-91, 1950.
- 11) Lewis, G.K. : *Electrical burns of the upper extremities. J. Bone Joint Surg.*, 40-A:27-39, 1958.
- 12) Luce, E.A., Dowden, W.L., Su, C.T. and Hoopes, J.E. : *High tension electrical injury of the upper extremity. Surg. Gynecol. Obstet.*, 147:38-42, 1978.
- 13) Peterson, R.A. : *Electrical burns of the hand. J. Bone Joint Surg.*, 48-A407-424, 1966.
- 14) Ponten, B., Erikson, U., Johansson, S.H. and Olding, L. : *New observations on tissue changes along the pathway of the current in an electrical injury. Scand. J. Plast. Reconstr. Surg.*, 4: 75-82, 1970.
- 15) Poticha, S.M., Bell, J.L. and Mehn, W.H. : *Electrical injuries with special reference to the hand. Arch. Surg.*, 85:172-181, 1962.
- 16) Sances, A., Larson, S. J., Myklebust, J. and Cusick, J.F. : *Electrical injuries. Surg. Gynecol. Obstet.*, 149:97-107, 1979.
- 17) Taipale, S. : *The results of treatment of electrical burns: A clinical report of 27 cases. Acts. Chir. Scand.*, 131:219-222, 1966.