

외상환자 수액 투여에서 알루미늄 호일을 이용한 단열 효과

조선대학교 의학전문대학원 응급의학교실

김서진, 신경훈, 박용진, 김선표

- Abstract -

The Thermal Insulation of Warm Fluid using Aluminium Foil in Trauma Care

Seo Jin Kim, M.D., Kyung Hoon Sun, M.D., Yong Jin Park, M.D., Sun Pyo Kim, M.D.

Department of Emergency Medicine, School of Medicine, Chosun University, Gwangju, Korea

Purpose: The temperature of a warm fluid infused into a patient is lowered because the line that allows the fluid to be infused into the patient is exposed to room air. This study evaluated the effects of aluminum foil used as an insulator surrounding the fluid infusion lines when using warm crystalloid fluids to treat traumatic shock patients.

Methods: The study measured the differences in fluid temperature between infusion lines with and without the aluminum-foil insulation. We used 1L of normal saline at 40°C as the infusion fluid, and the fluid infusion line was 200 cm long. The differences in temperature were measured for various fluid flow rates from 12,000 mL/min to 100 mL/min. We performed three experiments at each flow rate.

Results: The results showed the differences in temperature between the groups with and without the aluminum insulation were significant for flow rates above 100 mL/min.

Conclusion: Hypothermia in trauma patients results in many adverse complications such as peripheral vascular constriction, tissue hypoxia, metabolic acidosis, heart dysfunction and so on. Thus, the use of warm fluids and blood components is essential to reduce the probability of hypothermia. This study showed the aluminum foil wrapped around the infusion line had an insulator effect. As a result, such a wrapping can be used to avoid the adverse effects of hypothermia.

Key Words: Hypothermia, Prevention, Insulator, Trauma care

* Address for Correspondence : **Yong Jin Park, M.D.**

Department of Emergency Medicine, School of Medicine, Chosun University,
365 Pilmun-daero, Dong-gu, Gwangju, Korea
Tel : 82-62-220-3285, Fax : 82-62-224-3501, E-mail : chosunem@naver.com

Submitted : January 16, 2014 **Revised** : April 11, 2014 **Accepted** : June 10, 2014

이 논문은 2012년도 조선대학교병원 선택진료학술연구비에 의하여 연구되었음.

I. 서 론

외상환자에서 낮은 온도의 환경 노출, 수액 및 혈액 주입, 열생산의 감소 그리고 체온조절의 손상 등으로 인해 저체온증이 자주 발생한다.(1) 외상에서 저체온증은 말초혈관수축, 조직으로의 산소 운반의 감소, 대사성 산증, 응고장애 및 혈소판 기능감소, 면역저하로 인한 상처 감염 그리고 부정맥과 심근기능 감소 등을 유발하는 것으로 알려져 있다.(2,3)

외상환자는 출혈로 인한 체액의 감소로 인해 수액치료 및 수혈을 받을 가능성이 높는데, 온도가 낮은 수혈 및 수액치료가 환자의 체온을 낮추는 주된 원인으로 작용한다. 한 연구에 의하면 0.5 L의 저온의 수혈이 환자의 중심체온을 섭씨 0.5~1.0도를 낮추는 효과를 보였고, 3 L의 저온의 수혈이 식도의 온도를 현저히 감소시켜 심장정지의 발생확률을 현저히 상승시켰다.(4) 또한 저온이 아닌 상온의 수액을 투여하여도 체온이 감소하는 결과를 보였다.(5) 그렇기 때문에 가온되지 않은 수액은 외상으로 인해 응급수술이 필요한 환자들에게 더 이상 권유되지 않는다.(6) 위에서 언급한 외상환자 처치에서 저체온증의 부작용을 예방하기 위해 가온된 수액 및 혈액을 사용하는 것이 필수적이다. 미국에서는 혈액을 섭씨 42도로 가온시켜도 용혈 등의 부작용이 일어나지 않는다는 보고가 있고, 그 이상의 온도에서도 용혈뿐 만 아니라 과도한 출혈 및 고칼륨혈증 등의 부작용이 발견되지 않았다.(7,8)

가온된 수액 및 혈액을 주입하는 방법으로는 여러 가지 가온 기구(warmer)를 사용하거나 미리 가온 시켜놓은 수액을 사용한다.(9) 하지만 환자에게 들어가는 수액 줄이 상온에 노출되어 있기 때문에 수액의 주입 속도 및 줄의 길이에 따라 냉각되어 주입되고 있다.(10) 그렇게 되면 가온 효과가 떨어지게 되어 저체온증으로 인한 합병증이 발생할 확률이 증가할 수 밖에 없게 된다. 현재까지는 응급실에 보온효과가 있는 수액줄이 상품화되어 있지 않지만 단열재로 널리 알려지고 손쉽게 구할 수 있는 알루미늄 호일을 사용하여 가온된 수액의 보온의 효능에 대해 연구하였다.

II. 대상과 방법

섭씨 40도로 가온한 생리식염수(상표: CJ Safe-flex 0.9% Normal saline) 1000 ml에 수액줄(벡톤디킨스 코리아 수액세트 A) 200 cm를 사용하여, 상온 섭씨 23도 실내에서 실험하였다. 먼저 가온된 생리식염수에 수액줄을 연결하여 지상에서 150 cm 높이에 수액을 걸고 수액줄을 연결하여, Terumo infusion pump를 사용하여 정확한 수액 점적이 되게 하였다.

점적된 수액은 스티로폼 박스 내에 Falcon tube (50 cc)에 모이게 하였고, 이 때 falcon tube는 상온에 노출되지 않게 하여 최대한 단열된 상태로 실험을 시행하였다. 온도계는

수온 온도계를 사용하였고, 스티로폼 박스 덮개에 구멍을 내어 밀봉 후 Falcon tube내에 보인 수액의 온도는 정확한 수액의 온도를 측정하기 위해 온도계의 bulb가 완전히 잠길 수 있는 10 cc가 되면 30초간 측정하여 더 이상의 온도변화가 없을 때 기록하였다. 측정 시 생리식염수는 가온기에서 뺀 후 바로 온도를 각자 다 측정하였고, 모두 섭씨 40도였다. 온도 측정은 수액 점적 속도(분당 200 ml, 시간당 999 mL, 시간당 500 mL, 시간당 400 mL, 시간당 300 mL, 시간당 200 mL, 시간당 100 mL)에 따라 먼저 알루미늄 호일을 감싸지 않은 수액세트를 사용하였고, 그 다음 완전히 알루미늄 호일로 감싼 수액세트를 사용하여 온도를 측정하였다. 상기 모든 실험은 각각 세 차례씩 시행하여 기록하였다. 온도는 눈높이에서 눈금을 측정하였으며 눈금과 눈금 사이의 값은 가운데 값인 소수점으로 기록하였다. 통계 및 그래프는 Sigma plot 2001 프로그램을 사용하였고 각 항목의 평균을 t-test 분석하여 유의확률이 0.05 미만인 경우를 통계학적인 유의성이 있는 것으로 하였다.

III. 실험 결과

- 1) 분당 200 mL의 빠른 속도로 알루미늄 호일을 감싸지 않은 수액세트를 통과한 수액의 온도는 평균 섭씨 31.5도였으나, 알루미늄 호일로 감싼 수액세트를 통과한 수액은 섭씨 35.5도로 약 섭씨 4도의 차이를 보였다(p value=0.0011928816).
- 2) 시간당 999 mL의 속도로 알루미늄 호일을 감싸지 않은 수액세트를 통과한 수액의 온도는 평균 섭씨 26도였으나, 알루미늄 호일로 감싼 수액세트를 통과한 수액은 섭씨 30도로 약 섭씨 4도의 차이를 보였다(p value=0.0004511248).
- 3) 시간당 500 mL의 속도로 알루미늄 호일을 감싸지 않은 수액세트를 통과한 수액의 온도는 평균 섭씨 24.5도였으나, 알루미늄 호일로 감싼 수액세트를 통과한 수액은 섭씨 27.5도로 약 섭씨 3도의 차이를 보였다(p value=0.0001510114).
- 4) 시간당 400 mL의 속도로 알루미늄 호일을 감싸지 않은 수액세트를 통과한 수액의 온도는 평균 섭씨 23.8도였으나, 알루미늄 호일로 감싼 수액세트를 통과한 수액은 섭씨 26.2도로 약 섭씨 2.4도의 차이를 보였다(p value=0.0048126783).
- 5) 시간당 300 mL의 속도로 알루미늄 호일을 감싸지 않은 수액세트를 통과한 수액의 온도는 평균 섭씨 24도였으나, 알루미늄 호일로 감싼 수액세트를 통과한 수액은 섭씨 26도로 약 섭씨 2도의 차이를 보였다(p value=0.0213116411).

6) 시간당 200 mL의 속도로 알루미늄 호일을 감싸지 않은 수액세트를 통과한 수액의 온도는 평균 섭씨 23.3도였으나, 알루미늄 호일로 감싼 수액세트를 통과한 수액은 섭씨 26도로 약 섭씨 2.7도의 차이를 보였다(p value=0.0079662025).

7) 시간당 100 mL의 속도로 알루미늄 호일을 감싸지 않은 수액세트를 통과한 수액의 온도는 평균 섭씨 23.3도였으나, 알루미늄 호일로 감싼 수액세트를 통과한 수액은 섭씨 26도로 약 섭씨 2.7도의 차이를 보였다(p value=0.0704839969).

두 그룹의 온도 차이는 시간당 100mL를 점적한 경우를 제외하고는 통계적으로 유의한 차이가 있었다(Fig. 1).

상기 결과로 미루어 보아 점적 속도가 빠르면 알루미늄 호일의 단열효과가 높은 반면 점적 속도가 감소할수록 알루미늄 호일로 감싼 수액세트와 감싸지 않은 수액세트간의 온도 차이가 줄어들음을 알 수 있었다.

IV. 고 찰

저혈량성 쇼크가 동반되어 다량의 수액의 투여 및 수혈이

필요한 외상환자에서 섭씨 39도 정도의 고온의 수액처치가 필요하다.(11) 상온에 보관되어 있는 수액 그리고 냉장 및 냉동 보관되어 있는 혈액을 다량으로 환자에 몸에 주입할 경우 체온에 비해 온도가 낮은 액체가 몸에 들어오기 때문에 환자의 체온이 정상보다 낮아지게 된다. 체온이 낮아지게 되면 여러 가지 부작용들이 나타나게 된다. 저체온증의 부작용으로는 말초혈관 수축, 조직으로의 산소운반의 저하, 대사성 산증, 응고장애, 면역저하로 인한 상처의 감염 그리고 심장기능의 저하가 올 수 있다. 특히 응고장애는 대량출혈을 보이는 환자에서 지혈을 방해하여 치명적인 결과를 초래할 수 있다.(12-15)

외상 환자에게 고온의 수액 및 혈액을 공급하기 위해서 응급실 및 수술실에서 여러 방법이 고안되어 사용되고 있다. 먼저, 수액을 공급하는 수액 세트를 자동 가온기를 거치게 하여 설정된 온도의 수액을 환자에게 공급하게 해주는 방법이 있고, 가장 손쉽게 널리 사용되는 방법으로는 미리 설정된 온도로 수액을 가온시켜 준비해 놓은 상태로 환자에게 필요하면 바로 꺼내서 사용하는 방법이 있다.(16) 하지만, 대량으로 많은 양의 수액을 투여해야 하는 저혈량성 쇼크 외상환자에게 수액세트를 자동 가온기를 거치게 하여 공급하는 것

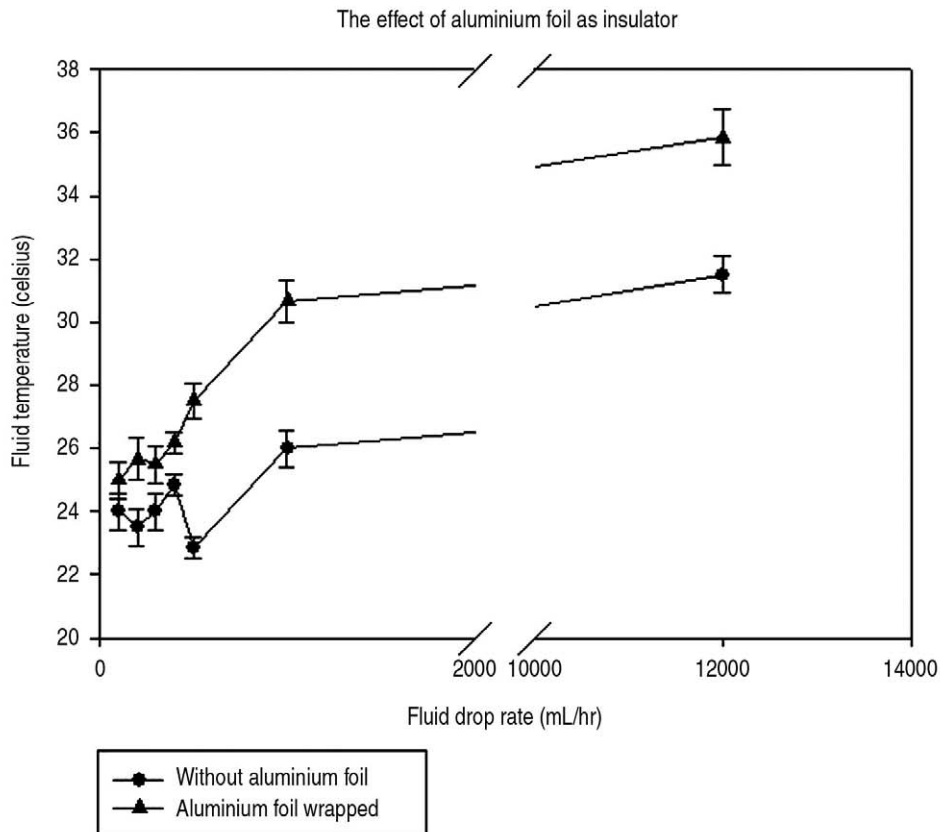


Fig. 1. Fluid temperature after passing through the 2 m fluid line in room temperature (23° C) lowered than that of initial fluid temperature (40° C) according to flow rate. There were differences between temperatures of fluid passing through the fluid line with aluminium foil wrapped and without it. By the way there were little differences in Slow flow rates (100 mL/hr).

은 가온 시간이 많이 걸리기 때문에 현실적으로 무리가 있다. 그렇기 때문에 미리 준비해 놓은 가온된 수액을 사용하는 것이 합리적이라고 판단된다. 가온기에 미리 준비해 놓은 고온의 수액을 사용할 경우 수액부터 환자까지 연결해주는 수액세트(line)를 사용하게 된다. 이 때 수액세트가 상온에 노출되게 되는데, 그 과정에서 수액의 온도가 감소하게 된다. 한 연구에 의하면 가온기를 이용해 환자에게 주입할 때 가온된 수액이 실제로 환자에게 주입될 때 수액의 주입속도에 따라 온도가 감소한다는 연구결과를 발표하였고, 더불어 체온보다 낮은 온도를 환자에게 다량 주입하였을 때 수액의 양에 따라 양이 많으면 환자의 체온의 감소폭이 증가하여 저체온으로 인한 합병증의 발생률이 증가한다는 연구결과를 발표하였다.(16)

열은 대류, 전도 그리고 복사의 과정을 통해 이동하게 된다.(17,18) 그렇기 때문에 수액세트에 수액이 전달될 경우 낮

은 온도의 상온과 평형을 이루고 있는 수액세트에 열이 이동하고, 온도가 낮은 액체는 아래로 이동하고 높은 온도의 액체는 위로 이동하는 대류에 의해 고온의 수액이 환자에게 주입될 때 의료진이 원하는 온도보다 낮은 온도의 수액이 환자에게 공급되게 될 것으로 판단된다. 이러한 이유로 본 저자들은 섭씨 40도로 가온된 0.9% 생리식염수 1 L에 2 m 길이의 수액세트를 연결하고 섭씨 23도의 상온에서 수액세트를 거쳐 나오는 수액의 온도를 측정해 보았다. 그 결과 수액주입 속도에 따라 온도의 차이는 있었지만 섭씨 40도 보다는 매우 낮은 온도가 측정되었다(Table 1). 이로 미루어보아 실제로 응급실에서 가온된 수액을 투여할 경우 환자에게 들어가는 수액의 온도가 예상 온도보다 낮음을 알 수 있었다. 가온된 섭씨 40도의 수액을 같은 온도로 환자에게 공급하기 위해서는 완전한 단열재가 필요하다. 그러나 완전한 단열효과를 가지고 있는 수액세트는 상품화되어 있는 것이 없기 때문에 주변에서 구하기 쉽고 다루기 용이한 단열제인 알루미늄 호일의 효과를 살펴보았다.

그 결과 알루미늄 호일로 둘러싼 수액세트를 사용하였을 경우와 알루미늄 호일을 사용하지 않았을 경우를 비교하였을 때 빠른 주입속도의 경우에서 유의한 온도차이를 보였다(Table 2). 생체징후가 불안정한 중증 외상 환자에서는 수액은 천천히 주입되는 경우보다 아주 빠른 속도로 주입되는 경우가 많기 때문에 위의 실험의 결과는 실제로 적용할 만한 의미가 있는 것으로 사료된다. 또한 낮은 온도의 혈액을 대량으로 수혈을 하는 경우에 고온의 생리식염수로 희석을 하여 빨리 주입하는 경우가 있는데 이때도 단열효과가 있는 알루미늄 호일로 수액세트를 감싸서 투여해도 효과가 있을 것으로 판단된다.

알루미늄 호일은 편의점 및 작은 상점에서도 쉽게 구입할 수 있고, 가격도 저렴한 검증된 단열제이다.(19-20) 또한 누

Table 1. Fluid temperature after passing through the 2 m fluid line in room temperature (23° C) lowered than that of initial fluid temperature (40° C) according to flow rate. There were a lot of differences in slow flow rates.

Fluid temperature after passing through the 2 m fluid line (40° C Fluid)	
Flow rate (mL/hr)	Average Final temperature (° C)
12,000 (Free drop)	31.5
999	26
500	22.8
400	24.8
300	24
200	23.5
100	24

Table 2. Fluid temperature after passing through the 2 m fluid line in room temperature (23° C) lowered than that of initial fluid temperature (40° C) according to flow rate. But, aluminium foil wrapped fluid lines were supposed to have insulator effect. Actually there were differences between temperatures of fluid passing through the fluid line with aluminium foil wrapped and without it. By the way there were little differences in Slow flow rates (100 mL/hr).

Fluid temperature after passing through the 2 m fluid line (40° C Fluid)		
Flow rate (mL/hr)	Final temperature without aluminium foil (Average ° C)	Final temperature with aluminium foil (Average ° C)
12,000 (Free drop)	31.5	35.8*
999	26	30.7*
500	22.8	27.5*
400	24.8	26.2*
300	24	25.5*
200	23.5	25.7*
100	24	25

* p value<0.05

구나 다루기 쉽고 위험하지 않다. 본 저자는 이러한 알루미늄 호일을 이용하여 수액세트의 단열효과를 연구하였고 위와 같은 결과를 도출하였다. 약 2 m 정도 길이의 수액세트를 알루미늄 호일로 감싸주는 약간의 수고만 한다면 저온의 수액 및 혈액을 대량으로 주입하였을 때 발생하는 저체온증을 유의하게 감소시킬 수 있고, 그로 인한 혈관수축, 응고장애, 대사성 산증 및 심장기능의 저하 등의 치명적인 부작용을 감소시켜 외상환자 치료에 큰 효과가 있을 것으로 사료된다.

이 연구의 방법대로 응급실에 내원한 중증 외상환자에게 적용하기에는 현실적으로 많은 시간이 소요될 것이다. 하지만, 위의 결과를 토대로 알루미늄 호일을 코팅한 수액세트가 상품화 되어 바로 사용할 수 있다면 환자에게 많은 이득을 가져다 줄 것이다.

본 연구를 시행하면서 제한점은 첫째, 실험을 시행한 온도가 철저히 차단된 것이 아니고 상온에서 시행하여 오차범위가 있었던 점이다. 둘째, 냉장 보관된 혈액성분을 가온 시키거나 또는 가온된 수액으로 희석하여 대량 수혈을 할 경우의 온도차이를 비교해 볼 수 없었다. 향후 임상 적용으로 환자의 치료효과와 생존율을 비교해 보는 연구가 보완되어야 할 것으로 보인다.

V. 결 론

외상환자의 치료에 필수적인 가온 수액 및 혈액을 공급하기 위해서 상온에 노출되어 있는 수액줄의 보온은 아주 중요하지만 현재까지 상품화 되어 있지 않기 때문에, 주위에서 손쉽게 구할 수 있는 알루미늄 호일을 사용함으로써 빠르고 경제적으로 환자에게 적절한 치료를 제공할 수 있다.

REFERENCES

- 1) Smith CE. Trauma and hypothermia. *Current Anaesthesia & critical care* 2001;12: 87-95.
- 2) Smith CE, Patel N. Hypothermia in adult trauma patients: Anesthetic considerations. Etiology and pathophysiology. *Am J Anesthesiol* 1996; 23: 283.
- 3) Mizushima Y, Wang P, Cioffi WG, Bland KI, Chaudry IH. Restoration of body temperature to normothermia during resuscitation following trauma-hemorrhage improves the depressed cardiovascular and hepatocellular functions. *Arch Surg* 2000; 135: 175-81.
- 4) Boyan CP, Howland WS. Blood temperature: A critical factor in massive transfusion. *Anesthesiology* 1961; 22: 559-63.
- 5) Gentillo LM, Moujaes S. Treatment of hypothermia in trauma victims: Thermodynamic consideration. *J intensive Care Med* 1995; 10: 5-14.
- 6) Pavlin EG. Hypothermia in traumatized patients, in Grande CM(ed). *Textbook of trauma Anesthesia and Critical Care*. St. Louis, MO, Mosby-Year Book 1993; Chapter 94:1131-9.
- 7) Gore DC, Beaston J. Infusion of hot crystalloid during operative burn wound debridement. *J trauma* 1997; 77: 1112-5.
- 8) Uhl L, Pacini D, Kruskall MS. A comparative study of blood warmer performance. *Anesthesiology* 1992; 77: 1022-8.
- 9) CE Smith. Principles of fluid warming in trauma. *Seminars in anesthesia, perioperative medicine and pain* 2001; 20: 51-9.
- 10) Smith CE, Kabbara A, Kramer RP, Gill I. A new IV fluid and blood warming system to prevent air embolism and compartment syndrome. *Traumacare* 2001; 11: 78-82.
- 11) Ribeiro MA Jr, Epstein MG, Alves LD. Volume replacement in trauma. *Ulus travma Acil Cerrahi Derg* 2009; 15: 311-6.
- 12) Denzl DF, Pozos RS. Accidental hypothermia. *N Engl J Med* 1994; 331: 1756-60.
- 13) Jurkovich GJ, Greiser WB, Luterman A, Curreri PW. Hypothermia in trauma victims: an ominous predictor of survival. *J Trauma* 1987; 27: 1019-24.
- 14) Gregory JS, Flancbaum L, Townsend MC, Cloutier CT, Jonasson O. Incidental and timing of hypothermia in trauma patients undergoing operations. *J trauma* 1991; 31: 795-800.
- 15) Helm M, Lampl L, Hauke J, Bock KH. Accidental hypothermia in trauma patients. Is it relevant to preclinical emergency treatment?[in German]. *Anaesthesist* 1995; 44: 101-7.
- 16) CE Smith, FRCPC, Karl Wagner. Principles of fluid and blood warming in trauma. *International trauma care (ITACCS)* 2008; 18: 71-9.
- 17) Pezzagno G. Heat exchange between human body and environment (theoretical bases of physiological measurement and evaluation). *G Ital Med Lav Ergon* 1999; 21: 159-205.
- 18) Liu X, Holmer I. Evaluation of evaporative heat transfer characteristics of helmets. *Appl Human Sci* 1997; 16: 107-13.
- 19) S. Marouani. Investigation of the resistance welding of multi-layers aluminium-coated polymer complexes used as envelopes of vacuum insulation panels. *Materials & design* 2012; 36: 546-56.
- 20) Feng Yu, Yanzhong Li, Yin Hai Zhu. Numerical and experimental investigation on the thermal insulation performance of low temperature cold box. *International communications in heat and mass transfer* 2009; 36: 908-11.