재난에 의한 혈액공급 중단 시 적혈구 제한수혈 정책의 모의 적용: 국내 한 3차 의료기관의 결과

신경화¹ · 이현지² · 이선민² · 김인숙² · 김형회¹

부산대학교병원 진단검사의학과¹, 양산부산대학교병원 진단검사의학과²

Simulation of Red Blood Cell-Limited Transfusion Policy in Case of Disruption of Blood Supply by Disaster: Results of a Tertiary Care Hospital in Korea

Kyung-Hwa Shin¹, Hyun-Ji Lee², Sun-Min Lee², In-Suk Kim², Hyung-Hoi Kim¹

Department of Laboratory Medicine, Pusan National University Hospital¹, Busan, Department of Laboratory Medicine, Pusan National University Yangsan Hospital², Yangsan, Korea

Background: Disasters themselves can increase the blood transfusion requirements due to an increase in injuries, and can lead to deficiencies in the blood transport system. To prepare for a disaster, it is important to know the actual blood requirements at the time of the disaster and the changes in blood supply according to the type of disaster.

Methods: From March 2018 to May 2018, all RBC transfusion cases at Pusan National University Yangsan Hospital were analyzed retrospectively. The patients were divided into Categories 1 to 3 according to the urgency of transfusion by disease. Priority one was defined as having only a category 1 patient receiving a transfusion, and priority two was defined as an emergency situation where only category 1 and 2 patients could receive transfusions.

Results: The amount of RBC concentrates used in this hospital was 53.1 units per day, which was 19.4%, 42.2%, and 38.4% in category 1, 2, and 3, respectively. The results of simulating the number of blood products that can be used according to the priorities when having a blood product inventory held by the blood banks are as follows: 2.45 days (normal), 12.64 days (P1), and 3.97 days (P2) can be used.

Conclusion: The simulation showed the time of blood transfusion without additional blood supply in the event of a crisis, and will help establish the transfusion countermeasures in the event of a disaster. (Korean J Blood Transfus 2019;30:42-48)

Key words: Transfusion, Disaster planning, Simulation

Received on January 14, 2019. Revised on March 26, 2019. Accepted on March 26, 2019

Correspondence to: Hyun-Ji Lee

Department of Laboratory Medicine, Pusan National University Yangsan Hospital, 20 Geumo-ro, Mulgeum-eup, Yangsan 50612, Korea

Tel: 82-55-360-1875, Fax: 82-55-360-1880, E-mail: hilhj1120@gmail.com, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9021-5632>

This study was supported by a 2019 research grant from Pusan National University Yangsan Hospital.

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.
Copyright ©2019 The Korean Society of Blood Transfusion

서론

재난은 자연재난, 사회재난 등으로 나뉜다. 자연재난에는 태풍, 호우, 강풍, 대설, 홍수, 지진 등이 있고, 사회재난에는 화재, 산불, 붕괴, 폭발, 철도사고, 원전사고 화학물질사고 등이 있다. 재난 안전통계연보에 따르면 국내에서 태풍, 호우, 대설, 지진 등으로 사망한 환자는 2007년부터 2016년까지 162명이었다[1]. 최근 증가한 지진은 아직까지 인명 피해는 없지만, 그 발생빈도와 규모가 커지고 있어 이에 대비할 필요가 있다.

재난은 그 자체로 부상자의 증가로 평상시보다 수혈요구량이 급격히 증가할 수 있고, 지진 경우에는 재난으로 인한 혈액 수송 시스템의 결함이 생겨 혈액수급 불균형으로 인한 수혈관련 위기상황이 발생할 수 있다[1]. 또한 생물학적 테러의 경우는 헌혈자의 선정에 문제가 있으므로 혈액 수급이 어려워진다. 반면, 테러나 홍수의 경우는 헌혈이 증가하기도 한다. 이에 재난의 종류에 따라 실제 혈액제제의 필요량을 예측하는 것이 중요하다. 폭탄으로 인한 재난의 경우 환자 당 1.32~8.88 단위의 적혈구를 사용하였고, 비행의 사고의 경우 2.02~6.93 단위의 적혈구, 총상으로 인한 사고의 경우 0.66~5.66 단위의 적혈구 사용을 보고하였다[2]. 관통상의 경우 한 명당 3 단위의 적혈구가 필요하다고 밝히기도 하였다[3]. 쓰나미가 발생할 경우 사상자가 증가하여 혈액 사용량이 증가할 것이라는 위기 의식으로 인근 지역의 헌혈자는 증가하지만 실제 쓰나미로 인한 수혈량 증가는 거의 없었다[4]. 지진에 의해서는 평상시보다 수혈 요구량의 증가가 없었다는 보고가 더 많다. 그 이유는 부상자보다 사망자가 더 많이 발생하고, 지진과 쓰나미가 같이 발생한 경우 전체 수혈요구량이 증가하지 않기 때문이다[5]. 혈액 사용량이 증가하는 재난의 경우, 재난의

종류에 따라 예상 혈액 사용량 계산을 통해 해당 의료기관에 필요한 혈액량을 빠르게 준비하는 것이 중요하겠다.

최근 몇 년간 지속적으로 헌혈이 감소하고 있어 국가 전체 혈액보유량이 감소하여 연중 혈액 수급이 불안정하였다[6]. 긴급한 상황에 대비한 훈련은 실제 그 상황이 발생했을 때 효율적으로 대처할 수 있어, 상황을 대비 훈련하는 것은 일상 생활에서부터 병원 응급상황까지 다양한 곳에 적용되고 있다[7]. 혈액 수급이 어려워지는 재난 상황의 시나리오를 준비하고 이를 현장에 적용해 대응훈련을 하는 것이 미래에 발생 가능한 의료기관의 수혈관련 재난 대비에 필요하다. 이를 위해 수혈 담당 전문의는 개별 의료기관의 재난계획을 알고, 재난의 종류에 따라 발생할 환자들의 분류, 그에 따른 시나리오를 준비할 필요가 있다. 혈액제제 재고 보유량 설정, 우선순위 결정 등이 필요하다.

따라서 본 연구진은 일개 3차 의료기관에서 적혈구 제제 수혈 현황을 분석하고, 적혈구 제제 사용의 우선순위를 설정하여 혈액 공급량 감소되는 재난 상황을 시뮬레이션 하였다. 이를 통해 해당 의료기관의 재고량 목표 수정 등의 운영 지침을 변경하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 우선순위 설정

효과적인 혈액 재고관리와 혈액부족사태에 대비하기 위한 국가적 가이드라인을 제시하고 있는 영국[8], 호주[9], 캐나다[10]의 혈액 우선순위 설정을 참고하여, 세 국가 가이드라인의 공통사항을 중심으로 본 연구에서 사용할 카테고리를 Table 1에 설정하였다. 환자는 질환에 따라 카테

Table 1. Categorization of disease conditions according to the transfusion priority

Class	Category		
	Category 1	Category 2	Category 3
Transplantation	All transplantation	-	-
Cancer	Patient with intensive care	Patient with supportive care	-
Aortic aneurysm	Others except category 3	-	Critically ill patients who cannot survive
Surgery	1. Patient with expire without surgery within 24 hours 2. Patient has severe sequelae without surgery 3. Cancer patient with intensive care	1. Patient has severe sequelae without surgery within 28 days 2. Patient become critically ill without surgery within 24 hours 3. Conservative and curative surgery for cancer patient 4. Perinatal bleeding related to delivery	-
Hematologic disease	Hb $\leq$ 6 g/dL	Hb $\leq$ 7 g/dL	Hb $>$ 7 g/dL
Others	Hb $\leq$ 6 g/dL	6 g/dL $<$ Hb $\leq$ 7 g/dL	Hb $\leq$ 10 g/dL

고리 1은 중환자, 24시간 내 수술하지 않으면 사망하는 환자, 이식환자, 헤모글로빈 6 g/dL 이하 등 24시간 이내에 수혈하지 않으면 생명이 위험한 환자로 수혈 최우선 환자로 정의하였다. 카테고리 2는 암환자의 보존적 치료, 헤모글로빈 6 g/dL 초과 7 g/dL 이하인 환자, 28일안에 수술 받지 않으면 심각한 후유증이 남는 환자로 수혈을 받지 않으면 생명이 위급하지는 않으나 경미한 장애가 발생하는 질환으로 정의하였다. 카테고리 3은 그 외 증상이 있는 빈혈 환자, 예정 수술 환자로 수혈이 필요한 정교수술 등 수혈 가이드라인에 준한 수혈이 필요한 환자로 정의하였다.

재난 상황은 우선순위 1과 우선순위 2로 나누었다. 우선순위 1 (P1)은 혈액 공급이 최고 어려운 상황으로 수혈 요구량은 증가하고 공급은 감소한 상황, 예를 들어 대규모의 지진 등이 발생한 경우로 정의한다. 우선순위 2 (P2)는 수혈 요구량이 증가하고 전국적 공급은 원활하지만 의료기관에 공급이 어려운 상태, 예를 들어 국소 지역의

붕괴 등이 발생한 경우로 정의하였다. P1은 카테고리 1에 해당하는 환자만 수혈 받는 상황, P2는 카테고리 1 및 카테고리 2에 해당하는 환자만이 수혈을 받을 수 있는 비상 상황으로 정의하였다.

2. 혈액제제 사용량 시뮬레이션

2018년 3월부터 2018년 5월까지 3개월간 1,200 병상에 86.6~88%의 병상 가동율을 보이는 양산 부산대학교병원에서 적혈구 제제가 수혈된 사례를 5,455 혈액제제 수혈량을 분석하였다. 3개월간 수혈된 혈액제제의 혈액형, 진단명을 조사하였고 이를 통해 카테고리를 분류하였다. 이를 통해 하루에 사용되는 혈액제제량을 카테고리별로 나누고, 평소 혈액은행에서 보유하고 있는 혈액제제 재고량을 가지고 있을 때, 평상시 혹은 우선순위 상황에 따라 며칠 동안 사용할 수 있을지 시뮬레이션 하였다.

결 과

3개월간 적혈구 제제를 수혈 받은 1,213명의 환자 정보는 Table 2와 같다. 수술과 암 치료에 필요한 수혈이 가장 많았다(50.9%). 본 의료기관에서 하루에 사용된 적혈구 제제 사용량은 53.1 단위였고, 카테고리 1이 19.4%, 카테고리 2가 42.2%, 카테고리 3이 38.4%였다. 질환에 따른 적혈구 제제 사용량은 Table 3과 같다. 각 질환마다 카테고리에 해당하는 적혈구 제제 사용량은 다르다.

시뮬레이션을 통한 정상시와 우선순위 상황에 따라 하루에 사용되는 혈액형별 적혈구 제제 사용량은 Table 4와 같다. 이를 평소 혈액은행이 보유하는 혈액제제 재고량을 가지고 있을 때, 우선

순위 상황에 따라 며칠 동안 사용할 수 있을지를 시뮬레이션 한 결과는 다음과 같다. 전체 혈액형에서 2.45일(정상시), 12.64일(P1), 3.97일(P2)을 사용할 수 있다. 혈액형별로 살펴보면 A형은 40단위를 가지고 있는 경우 2.18일(정상시), 11.53일(P1), 3.40일(P2)을 사용할 수 있고, B형은 30단위를 가지고 있는 경우 1.63일(정상시), 15.1일(P1), 3.43일(P2)을 사용할 수 있고, AB형은 20단위를 가지고 있는 경우 3.03일(정상시), 9.68일(P1), 4.87일(P2)을 사용할 수 있고, O형은 40단위를 가지고 있는 경우 3.12일(정상시), 16.44일(P1), 5.32일(P2)을 사용할 수 있다.

고 찰

수혈의학 담당 전문의는 의료기관의 재난계획을 잘 알고 있어야 하며, 재난시 수혈에 대한 대응지침을 가지고, 이를 혈액은행 근무자들에게 1

Table 2. Characteristics of the transfused patients over a three-month period

Characteristics	N
Patient (N)	1,213
Sex, F/M	484/729
Age (mean, range)	57.2 (0-96)
Disease	
Cancer	263
Transplantation	20
Hematologic disease	66
Surgery	355
Others	509
Pre-transfusion hemoglobin (g/dL) (mean, range)	8.6 (2.3-16.6)

Table 4. Expected daily requirements of red blood cells in different simulation scenarios

Blood type	Normal situation (units)	Priority 1 situation (units)	Priority 2 situation (units)
A +	18.37	3.47	11.78
B +	15.76	8.65	2.55
AB +	6.60	2.07	4.11
O +	12.83	2.43	7.52

Table 3. Average number of red blood cells transfused per day according to categories and disease condition

	Cancer (unit)	Hematologic disease (unit)	Transplantation (unit)	Surgery (unit)	Others (unit)	Total (unit)
Category 1	1.07	0.72	3.54	3.13	1.83	10.29
Category 2	8.98	1.58	0.00	8.38	3.49	22.43
Category 3	1.10	4.85	0.00	0.88	13.55	20.39

년에 한 번 교육 및 훈련시킬 필요가 있겠다[11]. 이를 위해서는 각 의료기관이 적정 적혈구 재고량을 보유하고 있는지, 해당 의료기관의 환자의 형태 및 수혈요구량을 파악할 필요가 있다. 이를 위해 본 의료기관에서는 적혈구 수혈 현황을 파악하고 혈액 공급량 감소에 대비하여 시뮬레이션을 하였다.

혈액 부족시 혈액제제의 안정적인 수급을 위하여 국가차원에서 관리하고 있는 나라, 호주, 영국, 캐나다의 국가 가이드라인을 참조하여 환자는 질환에 따라 카테고리를 분류하였고, 재난 상황을 P1, P2로 분류하였다. P1의 상황은 혈액 수급이 불안정 하기 때문에 카테고리 1 환자만 수혈을 할 수 있는데, 이 경우 본 의료기관에서는 A형의 경우 11.53일, B형은 15.10일, AB형은 9.68일 그리고 O형은 16.44일을 버틸 수 있다. 그러나 수혈 요구량이 증가한 경우에는 이보다 적은 일수를 유지할 수 있다고 예측할 수 있다. P2의 상황은 전국적인 혈액 수급은 안정적인 상황이므로 카테고리 1, 2인 환자 모두 수혈을 받을 수 있다. A형의 경우 3.40일, B형은 3.43일, AB형은 4.87일 그리고 O형은 5.32일을 버틸 수 있다. 평상시 사용량으로 유지되는 일 수 보다 1.22일에서 2.20일 더 유지할 수 있으므로, P2 상황 해결에 1일에서 2일 정도 여유가 있다. 전국적으로 혈액 사용량이 증가하는 재난이 발생하거나 혈액 공급이 차단되는 재난이 발생할 경우 병원 내 이를 대비할 혈액 재고가 없다. P1 상황인 전국적으로 혈액 공급이 부족할 경우를 대비해서는 냉동 적혈구 사용을 고려할 필요가 있다[12]. P2 상황인 국소적인 공급로에 문제가 생긴 재난의 경우에는 드론 등 항공을 이용하여 빠른 혈액 공급을 시행할 필요가 있다[13]. P2 상황이 2일내에 해결되지 못하거나, P1 상황일 경우에는 자체 헌혈을 확대 시행하여 적혈구 공급에 기여할 필요가 있다.

혈액 재고량에 관한 연구들을 살펴보면, 질병관리본부에서 2009년에서 2012년까지 혈액수급관리 표본감시체계를 통하여 보고한 바에 따르면 국내 주요 의료기관의 평균 적혈구제제 재고일은 5.3일이며[14], 국내 표본 감시의료기관의 평균 적혈구제제 재고일 보고는 5.7일이었다[15]. 최근 발표된 혈액량 재고량에 관한 논문에서는 국내 4곳의 적혈구 재고량을 계산한 결과 목표 혈액 재고일의 평균을 4.2일로 보고하였다[16]. 본 기관의 하루 적혈구 보유량은 130 단위로 일 평균 사용량으로 나눈 재고일로 계산 할 경우 2.45일 분을 보관하고 있는 것을 알 수 있다. 계속된 헌혈량 감소로 병원 내 혈액 재고량을 줄여 이렇게 감소한 것으로 분석된다. 호주의 적혈구 적정 재고량 계산 공식을 국내에 적용한 논문에 따르면 의료기관의 최소 적혈구 재고량은 2.4일로 계산되었다[16]. 이는 공급혈액원에서 의료기관까지 혈액공급에 걸리는 시간이 0.5일로 소요되기 때문이다. 전체 적혈구 재고량은 최소 적혈구 재고량과 비슷했으나, A형은 2.18일, B형은 1.63일, AB형은 1.63일 그리고 O형은 3.12일로 혈액형 별로 차이가 있었다. 본 의료기관 혈액원의 적절 적혈구 재고량을 변경을 고려할 필요가 있겠다.

본 연구의 제한점은 여러 종류의 혈액제제 가운데 적혈구 수혈에만 국한하여 시뮬레이션을 진행하였고, 단일 의료기관의 3개월 간의 수혈 데이터를 사용하였으므로 계절별 차이가 고려되지 못하여 국내 전체 의료기관을 대표할 수 있는 데이터로는 부족하였다.

본 의료기관에서는 수혈 요구량 증가 또는 혈액 공급량 감소 등의 수혈과 관련한 재난 발생시 의료기관의 수혈을 예측하기 위해 시뮬레이션을 하였다. 위기 상황에 따라 제한 수혈을 시행하기 위하여 환자의 수혈을 위한 카테고리 설정, 재난 우선순위를 설정하였다. 시뮬레이션 결과 전체

적혈구 재고량은 최소 적정 보유량을 유지하였으나 각 혈액형 별로 최소 적정 보유량을 유지하지 못함을 알게 되었다. 이를 통해 위기 상황이 발생 시 추가 혈액 공급 없이 수혈을 지속 할 수 있는 시간을 추정할 수 있었다. 이를 이용하여 재난 대비 수혈 정책을 수립할 수 있겠다.

요 약

배경: 재난 자체는 부상 증가로 인해 수혈 요구량을 증가시킬 수 있으며 재난으로 인한 혈액 수송 시스템의 결함을 초래할 수 있다. 재난을 대비하기 위해 재해 유형별로 실제 혈액 요구량과 혈액 공급량을 파악하는 것이 중요하다.

방법: 2018년 3월부터 2018년 5월까지 양산부산대학교병원의 모든 RBC 수혈 사례를 후향적으로 분석 하였다. 환자는 질환에 따른 수혈 위급도에 따라 카테고리 1부터 카테고리 3까지 나누었다. 우선순위 1은 카테고리 1 환자만 수혈 받는 상황으로 정의하고, 우선순위 2는 카테고리 1 및 2 환자만 수혈 받을 수 있는 비상 상황으로 정의 하였다.

결과: 본원에서 사용된 적혈구제제 양은 하루 53.1건으로 카테고리 1에서 19.4%, 카테고리 2에서 42.2%, 카테고리 3에서 38.4%였다. 사용 가능한 혈액 제제의 수를 우선순위 설정에 따라 시뮬레이션 한 결과 2.45일(정상), 12.64일(P1) 및 3.97일(P2)이었다.

결론: 시뮬레이션 결과 위기 상황 발생 시 추가 혈액 공급 없이 수혈 지속 가능 시간을 알게 되어, 재난 발생시 수혈 대책 수립에 도움을 줄 수 있겠다.

References

1. Ministry of the Interior and Safety. Statistical yearbook of disaster and safety. Ministry of the Interior and Safety, 2017
2. Ramsey G. Blood component transfusions in mass casualty events. Vox Sang 2017;112: 648-59
3. Glasgow SM, Allard S, Doughty H, Spreadborough P, Watkins E. Blood and bombs: the demand and use of blood following the London Bombings of 7 July 2005--a retrospective review. Transfus Med 2012;22:244-50
4. Kuruppu KK. Management of blood system in disasters. Biologicals 2010;38:87-90
5. Ohto H. What we have learnt from past disasters, how do we prepare for future calamities? Transfus Apher Sci 2016;55:173-6
6. Korea Red Cross. 2011 blood services statistics. https://www.bloodinfo.net/promotion_yearstats.do [Online] (last visited on 14 January 2019)
7. Hicks C, Petrosoniak A. The human factor: optimizing trauma team performance in dynamic clinical environments. Emerg Med Clin North Am 2018;36:1-17
8. National Blood Transfusion Committee. A plan for NHS blood and transplant and hospitals to address red cell shortages. National Blood Transfusion Committee, 2016
9. National Blood Authority (Australia). National Blood Supply Contingency Plan (NBSCP): Australia's response to blood shortages. Australia: National Blood Authority, 2008
10. National Advisory Committee on Blood and Blood Products, Canadian Blood Services. National plan for the management of shortages of labile blood components. Canada: National Advisory Committee on Blood and

- Blood Products, Canadian Blood Services, 2009
11. Zaheer HA, Waheed U. Blood transfusion service in disasters. *Transfus Apher Sci* 2016; 55:186-90
12. Erickson ML, Champion MH, Klein R, Ross RL, Neal ZM, Snyder EL. Management of blood shortages in a tertiary care academic medical center: the Yale-New Haven Hospital frozen blood reserve. *Transfusion* 2008;48:2252-63
13. Amukele T, Ness PM, Tobian AA, Boyd J, Street J. Drone transportation of blood products. *Transfusion* 2017;57:582-8
14. Oh JA, Shin JY, Lee KY, Jeong KE, Seo CR, Choi YS, et al. The status of the Korea blood inventory monitoring system, 2009~2012. *Korean J Blood Transfus* 2013;24:33-40
15. Chang WR, Lim YA. The inventory levels of red blood cells from sentinel hospitals in Korea according to the blood type. *Korean J Blood Transfus* 2008;19:155-64
16. Huh J, Lim YA, Hong YJ, Kim KH, Kim JN, Oh JA, et al. The experience of applying an Australian red blood cell safety stock calculation to Korean hospitals. *Korean J Blood Transfus* 2018;29:140-50