호주 적혈구 적정 재고량 계산 공식의 국내 적용 경험

허지영¹ · 임영애² · 홍윤지³ · 김경희⁴ · 김준년⁵ · 오진아⁵ · 최준길⁶

차의과학대학교 의과대학 분당차병원 진단검사의학과¹, 아주대학교 의과대학 진단검사의학교실², 분당서울대학교병원 진단검사의학과³, 가천대학교 의과대학 길병원 진단검사의학과⁴, 질병관리본부 혈액안전감시과⁵, 질병관리본부 결핵 에이즈관리과⁶

The Experience of Applying an Australian Red Blood Cell Safety Stock Calculation to Korean Hospitals

Jiyoung Huh¹, Young Ae Lim², Yun Ji Hong³, Kyung-Hee Kim⁴, Jun Nyun Kim⁵, Jin A Oh⁵, Jun Gil Choi⁶

Department of Laboratory Medicine, CHA Bundang Medical Center, CHA University School of Medicine¹, Seongnam, Department of Laboratory Medicine, Ajou University School of Medicine², Suwon, Department of Laboratory Medicine, Seoul National University Bundang Hospital³, Seongnam, Department of Laboratory Medicine, Gil Medical Center, Gachon University College of Medicine⁴, Incheon, Division of Human Blood Safety Surveillance, Korea Centers for Disease Control & Prevention⁵, Cheongju, Division of TB and HIV/AIDS Control, Korea Centers for Disease Control & Prevention⁶, Cheongju, Korea

Background: The management of red blood cell inventory in hospital's blood bank is crucial. The Australian Red Cross Blood Service developed a RBC safety stock calculation method (abbreviated as the 'Australian formula'). In this study, we applied this method to four Korean hospitals to calculate the safe RBC stock level.

Methods: The hospitals included in this study were three tertiary teaching hospitals and one teaching hospital. The number of hospital beds in these hospitals were 1093, 1330, 1400, and 854, respectively. The data were collected from the Korea Blood Inventory Monitoring System of Centers for Disease Control & Prevention. The target/minimal/maximal RBC inventory levels and inventory days (inventory level/average daily usage) by ABO blood types were calculated using the daily red cell transfusion, wastage, and supply data between May and October 2016.

Results: The enrolled hospitals showed different levels for the target/minimal/maximal RBC inventory according to each blood group. The average of RBC inventory days in the four hospitals was 4.2 days. For each blood group, RBC inventory days were 3.2~4.4 days for O blood group type, 3.5~4.7 days for A blood group, 3.9~4.5 days for B blood group, and 3.9~5.5 days for AB blood group.

Conclusion: Because the optimal RBC inventory levels are different depending on the hospital characteristics and the ABO blood group, it is necessary to set the RBC inventory levels for each hospital distinctly. The data obtained in this study will help manage blood product inventory in various hospital blood banks. (Korean J Blood Transfus 2018;29:140-150)

Key words: Blood safety stock calculation, Blood inventory management, Red blood cell

Received on July 5, 2018. Revised on July 31, 2018. Accepted on July 31, 2018

Correspondence to: Young Ae Lim

Department of Laboratory Medicine, Ajou University School of Medicine, 164 World cup-ro, Yeongtong-gu, Suwon 16499, Korea

Tel: 82-31-219-5786, Fax: 82-31-219-5778, E-mail: limyoung@ajou.ac.kr, ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-8472-289X>

This study was supported by a project for 'Current status of blood use and blood inventory management in Korean 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 ©2018 The Korean Society of Blood Transfusion

서론

혈액제제는 수혈을 필요로 하는 환자에게 부족한 혈액성분을 공급하여 위급한 생명을 구하기 위한 필수적인 치료제로써 필요로 하는 만큼 공급이 충분히 확보되어야 한다. 반면 짧은 보존기간을 가지고 있어 일정기간이 지나면 폐기해야 하는 생물학적 제제이다. 따라서 수혈이 필요한 환자들에게 안전한 혈액제제를 신속하고 안정적으로 공급하고 유효기간 경과로 인한 혈액폐기를 최소화하기 위해서 의료기관 혈액은행에서의 효율적인 혈액재고관리가 필요하다.

국내에서는 1981년부터 대한적십자사를 중심으로 헌혈을 통해 의료기관에 수혈용 혈액제제를 공급하고 있으며 수혈용 혈액은 자국의 헌혈에 의한 자급자족을 원칙으로 하고 있다. 그러나, 10여 년 전부터 거의 매년 동절기에 혈액공급부족이 반복적으로 발생하고 있고, 최근에는 혈액부족사태가 고착화되어가면서 원활한 혈액수급이 어려워지고 있으며, 이에 따른 진료 및 치료의 차질도 생기고 있다. 혈액공급부족의 주요 원인은 인구노령화 및 저출산에 따른 헌혈가능인구 감소 및 혈액 수요량 증가로 생각되고 있어 국내의 혈액공급부족은 단기간에 해소되지 않을 것으로 전망된다[1].

영국, 호주 등에서는 혈액부족사태의 경험 후 국가기관에서 공급혈액원의 혈액공급량과 재고량, 의료기관의 혈액사용량 및 재고량에 대한 정보를 매일 파악하고 의료기관 혈액은행에서의 적정 혈액 재고량 유지에 대한 지침을 만들어 그에 따라 혈액제제의 재고를 관리하도록 하고 있다 [2-4]. 우리나라도 2008년 12월부터 국내 주요 의료기관의 혈액수급상황을 모니터링 하기 위해서 질병관리본부의 주도하에 혈액수급관리 표본감시체계(Korea blood inventory monitoring system,

KBIMs)를 구축하여 운영 중이다[5]. 이를 통해 국내 주요 의료기관의 혈액공급량, 사용량 및 재고량을 모니터링할 수 있다. 그러나, 국내에는 의료기관별 혈액제제의 적정 재고량 산정을 위한 일관된 기준이나 지침은 없어 대부분의 경우 개별 의료기관에서 자체적으로 과거 혈액사용량을 기초로 적정 혈액재고량을 결정하여 적용하고 있는 실정이다. 따라서 범국가적인 차원에서 기관별 적정 혈액재고량을 기준으로 혈액부족을 일괄 판단하기에는 어려움이 있다.

이에 질병관리본부에서는 2016년 의료기관 혈액 사용실태 조사 및 적정관리 방안을 마련하여 안정적인 혈액 수급에 기여하고자 이에 대한 용역사업을 위탁하였다. 저자들은 이 사업의 일환으로 국내 의료기관의 혈액제제의 일관된 적정 재고량 산정을 위한 기준이나 지침을 마련하고자 하였고, 이에 참고할 만한 자료를 찾던 중 호주의 국가혈액관리원(National Blood Authority, NBA)에 요청하여 비공개 자료를 포함한 혈액제제 재고량 산정을 위한 공식이 포함된 자료를 연구 목적으로 구할 수 있었다. 효과적인 적혈구제제의 재고 관리를 위해 호주 적십자사 혈액 서비스(Australian Red Cross Blood Service, ARCBS)와 ‘Royal Melbourne Institute of Technology’의 통계학과와 국가혈액관리원이 국가재고관리체계사업(National Inventory Management Framework Project, NIMF)을 통해 적정 적혈구 재고량을 산정하는 공식을 개발하고 공식의 검증 및 단계별 적용을 거쳐 현재 호주 전역의 의료기관에 시범 적용하고 있는 중이다. 저자들은 본 연구에서 4개의 국내 의료기관에 호주 NIMF의 공식을 적용하여 적정 적혈구제제 재고량을 산정하고 그 경험을 보고하고자 한다.

대상 및 방법

1. 대상의 선정

사업을 위탁 받은 연구원들이 속해 있는 4개 의료기관을 대상으로 적혈구제제의 적정 재고량을 산정하고자 하였다. 3개의 상급 종합병원과 1개의 종합병원이 포함되었으며 대상 의료기관의 병상 수는 조사 당시 각각 1,093, 1,330, 1,400 및 854 병상이었다.

2. 자료 수집 및 분석

1) 자료 수집

질병관리본부 혈액수급관리 표본감시체계를 통해 각 의료기관의 2016년 ABO 혈액형별 적혈구제제의 기관별 입고량, 수혈량, 폐기량, 재고량 자료를 수집하고, 이 중 혈액 공급이 원활하였던 2016년 5월에서 10월까지 6개월 간의 자료를 분석하였다. 적혈구제제는 320 mL와 400 mL의 전혈로부터 유래한 농축적혈구제제와 백혈구여과 제거적혈구제제로 정의하였다. 사용량은 각 의료기관에서 수혈과 폐기로 사용된 모든 혈액제제로 정의하였다. 또한 의료기관별 혈액사용의 특징을 파악하기 위해 각 의료기관의 권역응급센터 또는 권역외상센터 운영 유무를 확인하고, 수집한 자료를 통해 각 의료기관의 2016년 6개월간의 적혈구제제 사용량 및 일평균 사용량과 의료기관 100 병상당 일평균 적혈구제제 사용량을 구하였다.

2) 각 의료기관별 혈액사용량, 목표재고일, 최소재고일, 최대재고일 정의

ABO 혈액형별 일평균 적혈구제제 사용량은 각 의료기관별로 2016년 5월에서 10월까지의 ABO 혈액형별 적혈구제제 사용량을 6개월인 184일로 나눈 혈액 단위 수로 정의하였다.

ABO 혈액형별 목표/최소/최대 재고량의 정의

는 다음과 같이 하였다. 목표 재고량은 의료기관에서 보유하고 있을 때 수혈이 필요한 환자에게 충분히 공급이 가능하고 유효기간 경과에 의한 혈액 폐기를 최소화할 수 있는 이상적인 혈액재고량으로 정의하였다. 최소 재고량은 의료기관 혈액은행의 혈액제제 재고가 최소 재고량에 도달하였을 때 즉시 혈액원에 혈액공급요청을 고려하여야 하는 혈액단위 수로 정의하였다. 최대 재고량은 과도한 혈액제제의 재고 보유 없이 수혈이 필요한 환자에게 혈액제제의 공급을 보증할 수 있는 혈액단위 수로 정의하였다[6]. 산정 시는 방법 '3) 호주 NIMF의 적혈구 적정 재고량 산정 공식'에 준하였다.

ABO 혈액형별 목표/최소/최대 재고일은 ABO 혈액형별 목표/최소/최대 재고량을 각 의료기관의 일평균 적혈구제제 사용량으로 나눈 수치로 정의하였다.

3) 호주 NIMF의 적혈구제제 적정 재고량 산정 공식

적정 재고량은 ABO 혈액형별로 아래의 호주 NIMF의 수식을[7] 이용하여 산정하였고, 각 지수를 풀어서 기술한 원문 설명과 이에 대한 해석은 아래와 같다.

$$SS = Z_{\alpha/2} \sqrt{\mu_L S_D^2 + \mu_D^2 S_L^2}$$

SS (Safety Stock)는 적정 재고량의 범위, $Z_{\alpha/2}$ (service level)는 99.5%의 신뢰구간을 구하였다. μ_L (average of lead time)는 혈액요청 후 혈액원에서 의료기관까지 혈액이 입고되는 평균 일, μ_D (average of demand in each period)는 일정기간에 대한 일평균 혈액 사용량, S_D^2 (variance of demand)는 혈액 사용량의 분산, S_L^2 (variance of lead time)는 혈액수급상황을 고려한 변수(X)의 분산으로 해석하였다. 호주 NIMF의 공식을 적용하기

위해 필요한 해당 의료기관의 자료로는 6개월 이상 기간 동안의 일별 적혈구제제 사용량 및 공급량 그리고 혈액요청 후 혈액이 혈액원에서 병원까지 도착하는 데 걸리는 평균 혈액수송시간(lead time)이 있다.

저자들은 혈액수급관리 표본감시체계를 통해 수집한 각 의료기관의 혈액형별 적혈구제제 수혈량, 폐기량, 공급량 자료를 공식에 적용하여 의료기관별로 ABO 혈액형별 적혈구제제의 적정 재고량을 계산하였다. 다만 혈액수송시간의 경우

각 병원의 자료를 얻어 구하기가 매우 어려웠고, 호주의 경우도 0.5일이라는 고정값을 사용하였으므로 본 연구에서도 모든 대상기관에 대해 0.5로 적용하여 계산하였고, 이 경우 혈액수송시간이 근무일 기준으로 평균 0.5일이 소요된다는 의미이다.

적혈구제제의 적정 재고량의 계산과정은 Fig 1에 나타내었다. 이를 간략히 설명하면 다음과 같다. 각 의료기관별로 6개월 동안의 일별 ABO 혈액형별 적혈구제제 사용량 평균과 표준편차를 구

Fig. 1. Calculation process of red blood cells inventory band. (A) Daily demand of red blood cells (Red blood cells transfused+discarded). (B) Daily red blood cells entering inventory. (C) Calculations needed for lead time (entering inventory/average of entering inventory). (D) Lead time (variance X) calculation. Minimal inventory level: $F2=ROUND(IF(ISERROR(E2),0,NORMINV(M2,0,1)*SQRT(L2*(D2)^2+(C2)^2*(E2)^2),2)$; Maximal inventory level: $G2=ROUND(F2+(6*D2),2)$; Target inventory level: $H2=ROUNDUP((F2+G2)/2,2)$; Minimal inventory days: $I2=IFERROR(F2/C2,0)$; Maximal inventory days: $J2=IFERROR(G2/C2,0)$; Target inventory days: $K2=IFERROR(H2/C2,0)$. (E) Calculation of red blood cells inventory band.

한다. 혈액원에서 의료기관으로의 혈액수송시간(lead time)은 1일 2회 공급을 가정하여 0.5를 적용하였다. 또한 혈액수급의 원활 정도를 고려하기 위한 변수(X)의 표준편차를 사용하였는데 X는 일자별로 공급혈액원으로부터 각 의료기관으로 입고된 혈액형별 일평균 입고량을 각 일자별로 입고된 혈액 단위수로 나눈 값이다. 즉, 'X=1/(red cell entering inventory/average red cell entering inventory)'이다. 이 때 입고된 혈액 단위가 없으면 X=1로 정하며 이는 의료기관에서의 혈액요청이 없었다는 의미이다(혈액수급이 어려울 경우는 X=3으로 변경할 수 있다). X의 계산값이 4 이상일 경우에는 4로 정한다. 위에서 구해진 혈액형별 적혈구제제 사용량 평균 및 표준편차, 혈액원에서의 혈액수송시간, X의 표준편차를 이용하여 99.5%의 신뢰구간을 가지는 적정혈액제제의 재고 범위를 구하여 범위의 하단을 소수점 반올림한 값을 최소 재고량, 상단을 소수점 반올림한 값을 최대 재고량, 최소 재고량과 최대 재고량의 합을 2로 나눈 값을 소수점 올림으로 하여 목표 재고량을 구한다.

4) 호주 NIMF의 공식에 의해 산정된 재고일과 국내 의료기관의 실제 재고일과의 비교

호주 NIMF의 공식에 의해 산정된 적혈구제제의 목표/최소 재고일과 대상 의료기관의 수집된 자료로 계산한 실제 적혈구제제의 재고일, 오 등

[1]과 장 등[8]이 보고한 국내 주요 의료기관에서 사용하는 적혈구제제의 실제 목표/최소 재고일을 비교하였다.

3. 통계

대상 의료기관의 2016년 5월에서 10월까지의 일별 혈액사용량을 100병상 당 사용량으로 보정한 다음 기관별 차이는 ANOVA test를 시행하여 기관별 혈액사용량을 비교하였다. 통계적인 유의수준은 $P=0.05$ 를 기준으로 하였다(SPSS Inc, Chicago, IL, USA). 목표/최소/최대 재고일 각각의 ABO 혈액형별 차이 그리고 이러한 재고일 각각의 기관별 차이는 Kruskal-Wallis test로 시행하여 P 가 0.05 이하인 경우만을 유의한 것으로 간주하였다(SPSS Inc).

결 과

1. 대상 의료기관의 특성

대상 의료기관은 모두 권역응급센터를 운영하고 있었고, 이중 두 개의 II, IV 병원은 권역외상센터도 같이 운영하고 있었다. 2016년 6개월간의 적혈구제제 사용량은 5,502~15,904 단위로 대체적으로 병상수가 증가할수록 혈액사용량도 증가하는 경향을 보였으나, II, III 병원의 경우 IV 병

Table 1. Hospital characteristics and RBC usage for each hospital during a six-month period in 2016

Hospital	Number of bed	Regional emergency center	Regional trauma center	RBC usage for six months in 2016	Average daily RBC usage (units)	Average daily RBC usage per 100 beds of hospitals (units)
I	854	Yes	No	5,502	29.9	3.5
II	1,093	Yes	Yes	14,337	77.9	7.1
III	1,330	Yes	No	15,904	86.4	6.5
IV	1,400	Yes	Yes	13,113	71.3	5.1

원보다 병상수가 적지만 혈액사용량은 더 많았다 (Table 1). 대상 기간인 6개월 동안의 의료기관 100병상당 일평균 적혈구제제 사용량은 3.5~7.1 단위였고, II 기관(7.1단위)이 100병상당 가장 많은 혈액을 사용하였고, I 기관(3.5단위)이 가장 적은 혈액을 사용하였다 ($II>III>IV>I$, $P<0.001$).

2. 대상 의료기관의 적혈구제제 목표/최소/최대 재고량 및 재고일

적혈구제제의 평균 목표 재고량은 66단위였고, ABO 혈액형 별로는 O형 76단위(35~100단위), A

형 85단위(50~110단위), B형 70단위(37~88단위), AB형 33단위(17~48단위)로 의료기관별로 큰 차이를 보였다. 적혈구제제의 평균 목표 재고일은 4.2일이었고, ABO혈액형별로는 O형 4.0일(3.2~4.4일), A형 3.9일(3.5~4.7일), B형 4.1일(3.9~4.5일), AB형 4.8일(3.9~5.5일)로 ABO혈액형별 목표 재고일은 유의한 차이는 없었으며($P>0.05$), 최소 재고일($P>0.05$)과 최대 재고일($P>0.05$) 역시 유의한 차이는 보이지 않았다. 의료기관별 비교에서도 목표 재고일($P>0.05$), 최소 재고일($P>0.05$)과 최대 재고일($P>0.05$) 모두 유의한 차이

Table 2. Proposed red blood cell inventory of four Korean hospitals using the safety stock calculation formula developed in Australia

ABO/Rh type	Hospital	Average RBC usage per day (units)	Standard deviation of RBC usage per day	Variance X	Standard deviation of variance X	Minimal inventory days	Maximal inventory days	Target inventory days	Actual inventory days
O+	I	7.97	4.78	1.25	0.93	2.6	6.2	4.4	4.6
	II	22.86	11.48	1.46	1.05	2.8	5.9	4.4	4.1
	III	24.32	12.53	1.23	0.82	2.3	5.4	3.8	4.3
	IV	22.78	10.19	1.08	0.65	1.9	4.5	3.2	4.5
A+	I	10.68	6.68	1.36	0.98	2.8	6.5	4.7	3.6
	II	26.90	11.89	1.28	0.85	2.3	5.0	3.7	3.6
	III	29.95	13.51	1.27	0.84	2.3	5.0	3.7	3.6
	IV	22.70	10.44	1.08	0.76	2.1	4.9	3.5	5.0
B+	I	8.17	5.30	1.24	0.89	2.6	6.5	4.5	4.8
	II	20.27	10.90	1.36	0.98	2.7	5.9	4.3	4.8
	III	22.79	10.62	1.30	0.85	2.4	5.2	3.8	4.8
	IV	17.71	8.87	1.19	0.84	2.4	5.4	3.9	3.8
AB+	I	3.08	3.20	0.97	0.57	2.4	8.6	5.5	6.7
	II	7.90	6.06	1.02	0.69	2.3	6.9	4.6	7.8
	III	9.38	7.11	1.27	0.96	2.8	7.4	5.1	6.8
	IV	8.08	5.78	0.87	0.45	1.8	6.0	3.9	6.0

Variance X: Variance of lead time. Minimal inventory days: minimal inventory level/average daily usage, maximal inventory days: maximal inventory level/average daily usage, Target inventory days: target inventory level/average daily usage. There were no significances between ABO blood groups or four medical institutes for minimal inventory day, minimal inventory day, and minimal inventory day by using Kruskal-Wallis test.

Table 3. Comparison of RBC inventory days by ABO blood type

	Type O	Type A	Type B	Type AB	Average	References
Calculated Target RBC inventory days	4.0	3.9	4.1	4.8	4.2	In this study
	4.4	4.0	4.6	6.8	4.9	In this study
Actual RBC inventory days	5.8	4.8	5.2	6.1	5.3	[1]
	5.4	4.7	5.4	7.5	5.7	[6]
Calculated Minimal RBC inventory days	2.4	2.4	2.5	2.3	2.4	In this study
Actual Minimal RBC inventory days	2.2	1.9	2.2	2.8	2.3	[6]

Table 4. The normal inventory limits (days) defined for RBC inventories in hospitals by countries from Report of the survey on blood supply management [10]

The normal inventory days	Countries (inventory days)
1~3	Slovak Republic (3), Slovenia & Italy (2~3), Sweden (1~3)
3~7	Austria (3~7), Serbia & Spain (3~7), Cyprus & Hungary (3~5), Australia (5~7), New Zealand (3.5~6), Belgium (7)
7~14	Denmark (14), Finland (5~10), Greece (10)

는 보이지 않았다(Table 2).

3. 호주 NIMF의 공식에 의해 산정된 재고일과 국내 의료기관의 실제 재고일과의 비교(Table 3)

계산된 목표 재고일의 평균은 4.2일로 대상 의료기관의 실제 평균 재고일인 4.9일 및 이전에 보고된 국내 주요 의료기관의 적혈구제제 평균 재고일인 5.3일, 5.7일보다 낮게 계산되었다[1,8]. 반면 최소 재고일의 경우 2.3~2.5일 사이로 혈액형 별로 큰 차이를 보이지 않았는데 국내 의료기관의 실제 최소 재고일에 비해 AB형을 제외하면 오

히려 호주 NIMF의 공식에 의해 산정된 최소 재고일이 더 높게 계산되었다.

고 찰

의료기관 혈액은행에서 효율적인 혈액제제 재고 관리의 목표는 임상적으로 수혈이 필요한 환자들에게 적절한 시간 내에 필요한 혈액을 공급할 수 있을 만큼 재고를 충분히 보유하면서 동시에 유효기간 경과 등으로 인한 혈액폐기를 최소화하는 것이다[9,10]. 질병관리본부에서 2009~2012년 동안 혈액수급관리 표본감시체계를 통하여 파악한 바에 따르면 국내 주요 의료기관의 평균 적혈구제제 재고일은 5.3일이었으며[1], 장 등[8]도 국내 표본감시의료기관의 평균 적혈구제제 재고일을 5.7일로 보고한 바 있다. 따라서 국내 의료기관 혈액은행의 적혈구제제 재고량은 대체적으로 일평균 혈액사용량의 5배 정도 되는 것으로 추정된다. 목표 재고량을 설정하는데 고려하는 요소는 주로 수 개월간에 걸친 일평균 혈액사용량으로, 그 외에 재고 수준을 결정하기 위해 고려하는 다른 변수는 별로 없었다. 2012년에 보고된 유럽의 국가별 의료기관의 적혈구제제 적정 재고일을 보면 적정 재고일이 정해져 있다고 응답한 15개 국가 중 적정 재고일이 1~3일인 국가가 4개, 3~7일인 국가가 8개, 7~14일인 국가가

3개 국가로(Table 4) 우리나라와 마찬가지로 적정 재고일이 3~7일인 국가가 다수를 차지하였다[11].

호주의 경우 수년 전부터 적정 적혈구 재고량을 산정하는 공식을 개발하고 이를 적용해 각 의료기관의 적정 적혈구 재고량을 산정하고 있는데, 호주 NIMF의 공식은 일정 기간 동안 해당 의료기관의 일일 혈액사용량, 혈액사용량의 변동성, 일일 혈액공급량, 혈액요청 후 혈액이 도착하는 데 걸리는 시간(혈액수송시간), 혈액수급상황(혈액수급의 원활한 정도) 등을 반영해 적정 적혈구 재고량을 산정하도록 개발되었다. 또한 이 공식에는 의료기관 혈액공급에 관해 호주에서만 적용할 수 있는 특수한 변수가 없고 일반적인 혈액공급에 관련된 변수만이 고려되어 있으므로 국내의 의료기관에 적용하는 것도 가능할 것으로 생각되었다.

본 연구에 포함된 의료기관들은 854~1,400의 병상 수를 가지고 있는 상급종합병원 또는 종합병원이었으며, 모든 의료기관이 권역응급의료센터로, 그 중 두 기관(II, IV)은 권역외상센터까지 운영하고 있었다. 의료기관 100 병상 당 일평균 적혈구제제 사용량을 보면 권역응급의료센터와 권역외상센터를 운영하는 II 기관(7.1단위)과 IV 기관(5.1단위)이 차이를 보여 병원 특성마다 혈액사용량이 다를 수 있었다. 이러한 차이는 병원마다 환자군이 다를 수 있거나 혹은 동일 환자군 이더라도 병원의 의료진에 따라 혈액사용량이 달라질 수 있으므로 각 병원의 혈액사용량 비교시 이점을 분명히 확인할 필요가 있다.

저자들은 호주 NIMF의 혈액재고량 산정공식을 4개의 대상 의료기관들에 적용하여 의료기관 내 혈액은행의 최소/최대 혈액재고량 및 목표 혈액재고량을 구하였다. 그리고 이를 각 의료기관의 일평균 혈액사용량으로 나누어 최소/최대 혈액재고일 및 목표 혈액재고일을 구하였다. 계산

된 목표 혈액재고일의 평균은 4.2일로서 이전에 보고된 국내 주요 의료기관의 적혈구제제 평균 재고일인 5.3일, 5.7일보다 1일 정도 낮았다[1,8]. ABO 혈액형별 목표 재고일은 O형 4.0일, A형 3.9일, B형 4.1일, AB형 4.8일로 모든 혈액형에서 이전에 보고된 국내 의료기관의 평균 재고일보다 낮게 계산되었으나, A형에서 가장 낮고, AB형에서 가장 높은 재고일을 보이는 양상은 이전의 보고와 일치하였다(Table 3)[1,8]. 오 등[1]은 일평균 적혈구제제 사용량과 적혈구 재고일은 반비례하는 양상을 보인다고 보고한 바 있다. 즉 일평균 적혈구제제 사용량이 감소할수록 적혈구 재고일은 증가하는 경향을 보인다. 본 연구뿐 아니라 이전의 국내 보고들에서도 A형의 적혈구제제 재고일이 가장 낮고 AB형의 재고일이 가장 높은 이유는 한국인에서는 A형의 빈도가 가장 높고 AB형의 빈도가 가장 낮아 혈액형별 적혈구제제 사용량이 A형이 가장 많고, AB형이 가장 적기 때문일 것으로 추정되었다.

의료기관별로 적혈구제제 목표 재고일을 살펴보면 평균 4.8일(I기관), 4.1일(II기관), 4.3일(III기관), 3.6일(IV기관)로 혈액사용량이 가장 적은 I기관의 목표 재고일이 가장 높았으나, 혈액사용량이 더 많은 II, III 기관이 아니라, IV 기관의 목표 재고일이 가장 낮았고 이는 혈액사용량뿐만 아니라 혈액사용량의 변동성이 고려된 결과로 생각된다(Table 2). 본 연구에서 산정된 혈액형별 목표 재고일은 모든 혈액형에서 실제 재고일보다 낮게 산정되어 의료기관별로 적정 재고일에 대한 재검토가 필요할 것으로 생각되었다(Table 3). 본 연구의 혈액형별 실제 재고일은 이전의 국내 주요 의료기관의 적혈구제제 재고일보다 낮게 산정되었다. 이전의 보고들은 본 연구에 포함된 의료기관보다 혈액사용량이 낮은 의료기관들이 포함되어 있을 것으로 추정되고 혈액사용량이 적을수

록 재고일이 증가하는 경향이 영향을 미친 것으로 판단된다. 스페인의 경우도 평상시 목표 재고일을 병원 규모에 따라 달리 정하였는데, 큰 병원(>500병상)은 3일, 작은 규모의 병원(<500병상)은 7일로 보고하여 병원 규모에 따라 재고일이 다름을 알 수 있었다[11].

최소 재고일의 경우 2.3~2.5일 사이로 혈액형별로 큰 차이를 보이지 않았는데 장 등[8]이 보고한 국내 의료기관의 적혈구제제 최소 재고일과 비교하면 AB형을 제외하면 오히려 호주 공식에 의해 산정된 최소 재고일이 더 높게 계산되었다(Table 3).

국내에서는 1988년 김[12]이 국내 병원에서 효율적인 혈액제제 재고관리를 위해 표준혈액재고량을 계산하기 위한 다음과 같은 수식을 개발한 바 있다.

$$S=2.8617 \times (d)^{0.9342}$$

(S: 표준혈액재고량, d: 1일 평균 출고량)

위의 수식의 경우 1일 평균 출고량을 표준혈액재고량을 구하기 위한 단일 변수로 사용하고 있고, 또한 특정 혈액제제의 1일 평균 출고량이 10단위에서 30단위 사이에 해당하는 경우에 적합하다고 하여 본 연구에 포함된 의료기관들에 적용하기는 적합하지 않은 수식으로 생각되었다. 따라서 국내 의료기관의 적정 혈액 재고량에 대한 재검토가 필요하다고 생각되며, 이를 위해서 혈액사용량뿐만 아니라 의료기관의 규모, 혈액제제의 사용에 영향을 주는 특성(권역응급의료센터, 권역외상센터 유무 등), 혈액형별 혈액 사용량, 혈액원에서의 혈액공급주기 및 수송시간 등을 반영하여 적정한 적혈구제제 재고수준을 산정할 수 있는 방법의 개발이 필요하겠다.

본 연구의 재고량 산정공식을 국내의 의료기

관에 적용하기 위해서는 아래의 제한점이 있을 수 있으므로 국내 의료기관에 적용할 경우에는 충분한 검토 및 논의가 필요할 것으로 보여진다. 첫 번째로 본 연구에서 사용된 재고량 산정공식은 호주의 국가혈액관리원에서 제공한 것으로 공식 산출 과정에 대한 자료를 직접 확인할 수 없었다는 점이다. 두 번째로 본 연구는 혈액수급이 원활하였던 기간만을 선정하여 적정 재고량을 산정하였고 호주와 본 연구에서는 혈액수급의 원활정도를 반영하기 위한 변수 계산값의 상한을 4로 정하였다. 따라서 혈액수급이 어려운 시기의 경우에는 혈액수급의 원활 정도를 고려할 필요가 있겠다. 마지막으로 호주의 경우 혈액원에서 의료기관으로의 혈액제제 공급을 1일 2회 공급으로 가정하여 혈액수송시간을 0.5로 적용하였다. 이 공식을 국내 의료기관에 적용하기 위해서는 1일 공급횟수를 반영하는 혈액수송시간을 어떻게 설정할 것인지에 대한 충분한 검토 및 논의가 필요하겠다.

호주의 경우 재고량 산정 공식을 개발하여 실제로 전국 의료기관의 혈액 재고량 산정에 적용시키기 전에 충분한 검증 과정을 거친 바 있다. 혈액 수급 관련 전문가들로 구성된 팀이 다양한 규모 및 특성을 가진 여러 병원들을 선정하여 수개월에 걸쳐 NIMF에서 개발된 공식을 이용해 적정 재고량을 산정하였고, 이때 나타난 문제점 및 개선점을 보완하여 전국으로 확대 시행하였다[4]. 국내에서도 의료기관별 적정 재고량 산정을 일관된 기준으로 시행하기 위해서는 해당 재고량 산정방법에 대한 충분한 검증 및 보완이 선행되어야 할 것으로 생각된다.

요약하면 저자들은 국내 4개의 의료기관의 혈액사용량 자료를 가지고 호주 NIMF의 공식을 이용하여 목표 혈액재고량 및 재고범위를 산정하였는데 기존에 보고된 국내 의료기관의 혈액재고량

에 비해 1일 혈액사용량 정도가 적게 산정되었다. 향후 국내에서도 의료기관의 규모, 특성, 혈액형별 혈액 사용량, 혈액원의 혈액공급주기 및 혈액수송시간 등을 반영하여 적절한 적혈구제재 재고수준을 결정할 필요가 있으며, 본 연구 결과가 향후 국내실정에 맞는 적혈구제재 재고량을 산정하는데 도움이 될 것으로 기대한다.

요 약

배경: 의료기관 혈액은행의 혈액제제 재고관리는 효율적인 적혈구제제의 재고관리를 위해 필수적이다. 호주 NIMF의 적십자사 혈액 서비스에서는 적혈구제제 적정 재고량을 계산하기 위한 공식을 개발하였다. 저자들은 호주 NIMF의 적혈구제제의 적정 재고량 산정공식을 4개 국내 의료기관에 적용해보고 그 경험을 보고하고자 한다.

방법: 대상 의료기관에는 3개의 상급종합병원과 1개의 종합병원이 포함되었고, 병상 수는 각각 1,093, 1,330, 1,440 및 854이었다. 질병관리본부 혈액수급관리 포본감시체계를 통해 필요한 자료를 수집하였고, 2016년 5월에서 10월까지 6개월 간의 ABO혈액형별 적혈구제제 수혈량, 폐기량, 공급량 자료를 이용하여 목표/최소/최대 적혈구재고량과 이를 일별 적혈구제제 사용량으로 나눈 목표/최소/최대 적혈구제제 재고일을 계산하였다.

결과: 각 혈액형별 목표/최소/최대 적혈구재고량은 각 의료기관에 따라 매우 다양하였다. 의료기관의 적혈구제제 재고일은 평균 4.2일이었고, ABO 혈액형 별로 O형 3.2~4.4일, A형 3.5~4.7일, B형 3.9~4.5일, AB형 3.9~5.5일이었다.

결론: 적혈구제제의 적정 재고량은 의료기관의 특성과 ABO 혈액형에 따라 차이를 보이므로 각 의료기관에 따라 설정해야 한다. 이 연구는 항

후 의료기관 혈액은행의 혈액제제 재고관리에 도움이 될 것으로 생각된다.

감사의 글

호주의 ‘적혈구 적정 재고량 계산 공식’은 호주 적십자사와 ‘Royal Melbourne Institute of Technology’의 통계학과에 의하여 공동 개발되었으며 국가재고관리체계사업을 위하여 국가혈액관리원이 제공하였습니다. 이러한 자료를 제공해 주신 호주 국가혈액관리원, Sandra Cochrane 및 David Roxby에게 감사드립니다.

References

1. 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
2. National Blood Stocks Project Group. End of project report. National blood stocks project. <http://www.bloodstocks.co.uk/pdf/projectend.pdf> [Online] (last visited on 17 July 2018)
3. National Audit Office (NAO). The national blood service. <https://www.nao.org.uk/press-release/the-national-blood-service-2/> [Online] (last visited on 17 July 2018)
4. National Blood Authority (Australia). National inventory management framework (NIMF). <https://www.blood.gov.au/nimf> [Online] (last visited on 17 July 2018)
5. Lim YA, Kim HH, Joung US, Kim CY, Shin YH, Lee SW, et al. The development of a national surveillance system for monitoring blood use and inventory levels at sentinel hospitals in South Korea. Transfus Med. 2010;20:104-12
6. National Blood Authority (Australia). Managing

- blood and blood product inventory guidelines for Australian health providers. <https://www.blood.gov.au/inv-mgt-guideline> [Online] (last visited on 17 July 2018)
7. Resource Systems Group. Safety Stock Calculations. <https://www.resourcesystemsconsulting.com/2007/01/29/safety-stock-calculations/> [Online] (last visited on 2 August 2018)
 8. 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
 9. Perera G, Hyam C, Taylor C, Chapman JF. Hospital blood inventory practice: the factors affecting stock level and wastage. *Transfus Med*. 2009;19:99-104
 10. Stanger SH, Yates N, Wilding R, Cotton S. Blood inventory management: hospital best practice. *Transfus Med Rev*. 2012;26:153-63
 11. European Directorate for the Quality of Medicines & HealthCare of the Council of Europe. Report of the survey on blood supply management organized by the TS003 working group in member states and observer states of the council of Europe. Strasbourg: Council of Europe; 2014
 12. Kim BY. Development of the standard blood inventory level decision rule in hospitals. *Korean J Prev Med* 1988;21:195-206