

응급실에서의 주사기 채혈과 진공관 채혈의 용혈과 재채혈 비교

성영희¹ · 황문숙² · 이지향³ · 박형두⁴ · 유광현⁵ · 조명숙⁶ · 이영희⁷ · 송순옥⁸

¹성균관대학교 임상간호대학원 교수·삼성서울병원 임상간호학연구소 소장, ²우석대학교 간호학과 조교수, ³삼성서울병원 간호파트장, ⁴삼성서울병원 진단검사의학과 조교수, ⁵삼성서울병원 진단검사의학과 검사실장, ⁶성균관대학교 임상간호대학원 부교수·삼성서울병원 간호본부장, ⁷성균관대학교 임상간호대학원·삼성서울병원 임상간호학연구소 부교수, ⁸메릴랜드 간호대학 Adjunct Faculty

A Comparison of the Rates of Hemolysis and Repeated Blood Sampling using Syringe needles versus Vacuum tube needles in the Emergency Department

Sung, Young Hee¹ · Hwang, Moon Sook² · Lee, Jee Hyang³ · Park, Hyung Doo⁴ · Ryu, Kwang Hyun⁵ · Cho, Myung Sook⁶ · Yi, Young Hee⁷ · Song, S.⁸

¹Professor, Department of Clinical Nursing Science, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul

²Assistant Professor, Department of Nursing Science, School of Oriental Medicine in WooSuk University, Jeonbuk

³Nursing Manager, Department of Nursing, Samsung Medical Center, Seoul

⁴Assistant Professor, Department of Laboratory & Genetics, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul

⁵General Director, Department of Laboratory & Genetics, Samsung Medical Center, Seoul

⁶Associate Professor, Department of Clinical Nursing Science, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul

⁷Associate Professor, Department of Clinical Nursing Science, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine, Seoul, Korea

⁸Adjunct Faculty, School of Nursing, University of Maryland, Baltimore, USA

Purpose: This study was done to compare the rates of hemolysis and repeated sampling in blood samples obtained by a syringe needle versus a vacuum tube needle. **Methods:** A randomized, prospective study was used to evaluate the differences between the two blood sampling methods. The study group consisted of patients seen in the emergency department (ED) for blood sampling to determine electrolyte level. ED patients were randomly assigned to either the syringe group or the vacuum tube group. All blood samples were collected by experienced ED nurses and hemolysis was determined by experienced laboratory technologists. Data were analyzed using Fisher's exact test and binary logistic regression. **Results:** One hundred forty-five valid samples were collected (74 in the syringe group versus 71 in the vacuum tube group). 5 of 74 (6.8%) blood samples in the syringe group and 8 of 71 (11.3%) in the vacuum tube group hemolyzed. Repeated blood sampling occurred for 2 of 74 (2.7%) and 3 of 71 (4.2%) in each group respectively. There were no significant differences in rates of hemolysis and repeated sampling between two groups ($B=1.97, p=.204$; $B=2.36, p=.345$). **Conclusion:** Venipuncture with syringe needles can be recommended for ED nurses to obtain blood samples.

Key words: Hemolysis, Blood specimen collection, Syringe, Vacuum tube, Emergency

서론

1. 연구의 필요성

한정된 인적 자원과 공간으로 이루어진 종합병원 응급실은 많은

환자들로 혼잡하고 또한 이로 인해 응급실 체류시간도 길어지고 있다(Lowe et al., 2008). 이는 중소병원의 응급실 운영기피나 응급실을 통해 수월진료를 원하는 비응급 환자수의 증가와 같은 외적 요인뿐 아니라 응급실의 내적 요인들도 응급실 환자의 진료흐름을 방해하기 때문인데, 그 중 하나가 채혈과정에서 발생하는 용혈이다(Derlet,

주요어: 용혈, 채혈, 주사기, 진공관, 응급

*연구비 본 연구는 2010년도 삼성서울병원 간호본부의 학술연구비 지원에 의한 것임.

*This study was financially supported by the research fund of nursing department of Samsung Medical Center in 2010.

Address reprint requests to : Hwang, Moon Sook

Department of Nursing Science, School of Oriental Medicine in WooSuk University, 443 Samnye-ro, SamnyeEup Wanju-gun, Jeollabukdo 565-701, Korea

Tel: +82-63-291-1989 Fax: +82-63-291-1547 E-mail: msyellow45@hanmail.net

투고일: 2011년 9월 28일 심사외뢰일: 2011년 10월 17일 게재확정일: 2012년 5월 30일

Richards, & Kravitz, 2001).

용혈은 적혈구 세포막의 손상으로 세포막 내의 헤모글로빈과 기타 물질이 세포막 외의 혈장으로 유리되는 것을 말하는데, 결과적으로 혈장에 세포내 물질이 혼입되어 검사결과에 영향을 준다(Kennedy et al., 1996). 일반적으로 용혈에 의해 영향을 받는 진단검사는 암모니아, 아밀라제, 아스파테이트 아미노트랜스퍼라제, 락테이트 디하이드로제나제, 포타슘, 비타민 B12, 총 빌리루빈, 마그네슘, 리파제, 리툼, 페르틴, 철, 엽산, 요산 등이 있으며(Lowe et al., 2008), 이중 포타슘의 변화가 임상에서 가장 중요하다.

포타슘은 용혈로 인한 변화의 폭이 미미하더라도 결과의 해석에 큰 영향을 주는 검사로서(Hong & Kim, 1981), 검체의 용혈이 심하면 정확한 진단을 위해 새로운 검체를 요구하게 되므로 재채혈을 하게 된다. 이러한 과정에서 응급실 환자는 진단과 치료가 지연되고 재채혈로 인한 통증 등의 불편감이 증가하며, 응급실 체류시간이 길어짐으로서 응급실 혼잡과 병원만족도의 저하 원인이 되고 있다(Cox, Dages, Jarjoura, & Hazelett, 2004).

진단검사에 대한 정도관리를 하고 있는 미국의 임상병리사회에서는 최상의 실무를 위해 채혈로 인한 용혈 발생률을 2%이하로 권장하고 있다. 그러나 실제 문헌에서 제시된 채혈관련 검체의 용혈 발생률은 6.5% (Saleem, Mani, Chadwick, Creanor, & Ayling, 2009), 12.8% (Dugan, Leech, Speroni, & Corriher, 2005), 19.8% (Ong, Chan, & Lim, 2008), 심지어 32% (Grant, 2003)까지 그 정도가 매우 다양하게 보고되고 있다. 따라서 안전하고 효율적인 검체수집을 위하여 응급실의 직원이나 조직은 검사와 관련된 혈액의 정도관리를 위해 채혈된 검체의 용혈이 어느 정도인지를 확인하고 모니터하며 이를 방지하는 노력을 지속적으로 시행하여야 한다(Grant; Ong et al.)

채혈된 검체의 용혈을 방지하기 위한 업무개선 활동은 용혈에 영향을 주는 요인을 살펴보는 것으로부터 시작된다. 채혈관련 용혈의 영향요인으로는 채혈방법(Dugan et al., 2005; Grant, 2003; Kennedy et al., 1996), 토니켓 적용시간(Saleem et al., 2009), 채혈자의 숙련도(Lowe et al., 2008), 채혈 시 사용되는 주사바늘의 크기(Dugan et al.; Kennedy et al., 1996), 혈액이 수집되는 채혈관의 크기(Cox et al., 2004; Dugan et al.), 채혈시도 횟수, 진단명 및 채혈부위(Dugan et al.), 검체 이송방법(Fang, Fang, Chung, & Chien, 2008) 등이 있다. 또한 Bush의 연구(Dugan et al.에서 인용됨)에 의하면 채혈관으로 사출되는 혈류의 압력과 과도한 채혈관 흔들기도 용혈에 영향을 주는 요인으로 알려져 있다.

이 중 채혈방법으로서 주사기를 이용하는 채혈하는 방법(이하 주사기 채혈)은 혈액을 주사기에서 채혈관으로 옮기는 수작업 과정에서 용혈이 발생할 수 있으므로 연구가 진행되는 S상급종합병원 임상병리과에서는 진공관 채혈세트를 사용하여 채혈하는 방법(이

하 진공관 채혈)을 권장하고 있다. 채혈할 때 진공관 채혈세트를 사용하면 검체가 외기와 차단되어 멸균상태가 유지되고 검체의 생물학적 상태가 보존됨으로써 정확하고 신뢰성 있는 결과를 얻을 수 있으며 더불어 채혈자가 주사바늘에 찔리는 사고를 방지할 수 있다고 한다(Yoon, 2007).

하지만 응급실에서 채혈관련 업무를 주로 수행하는 간호사들은 채혈할 때 접근이 쉽고 손에 익숙한 주사기 채혈을 선호한다. 또한 주사기 채혈은 진공관 채혈보다 재료구입 비용이 저렴하므로 국내에서는 아직도 주사기 채혈이 50% 이상을 차지하고 있다(Yoon, 2007). 문헌에 의하면, 진공관 채혈이 오히려 용혈 발생률을 증가시킨다는 연구(Ong et al., 2008), 주사기 채혈과 진공관 채혈 간에는 용혈 발생률에서 차이가 없다는 연구(Dugan et al., 2005) 등 주사기 채혈이 진공관 채혈보다 용혈이 더 많다고 단정지을 수 없는 연구들이 발표되고 있다. 따라서 국내에서도 주사기 채혈과 진공관 채혈 간에 용혈과 재채혈의 발생률에 차이가 있는지를 검증하는 연구로 주사기 채혈이 진공관 채혈에 비해 용혈과 재채혈의 발생률이 높지 않음을 확인하는 연구가 필요하다.

채혈로 인한 용혈관련 문헌을 살펴보면, 외국의 경우는 용혈발생에 대한 실태조사(Fernandes, Walker, Price, Marsden, & Haley, 1997; Grant, 2003), 용혈발생 영향요인(Dugan et al., 2005), 채혈방법에 따른 용혈 비교(Cox et al., 2004; Grant; Kennedy et al., 1996; Lowe et al., 2008) 등 다양한 형태로 많은 연구들이 발표된 반면, 국내에서는 응급실에서 업무개선을 목적으로 수행한 질 보장 활동보고서 외에는 용혈관련 연구는 거의 시행되지 않았다. 다만 채혈과 관련한 문헌은 채혈방법에 따라 혈당치를 비교한 Kim J. H. (1998)의 연구와 채혈이 응급실 간호사의 업무임을 제시한 Kim, Lee와 Kim (1995)의 연구와 Kim E. J. (1998)의 연구가 있을 뿐이다.

이에 본 연구는 응급실에서 채혈로 인해 발생하는 용혈과 재채혈의 발생률을 확인하고 주사기 채혈과 진공관 채혈 간에 용혈과 재채혈의 발생률에 차이가 있는지를 확인해 보고자 한다. 이를 통해 얻어진 결과는 응급실 간호사의 채혈관련 업무에서 용혈방지를 위한 최적의 방법과 실무지침을 마련하는데 필요한 기초자료를 제공함으로써 근거중심의 실무에 기여할 것이다.

2. 연구 목적

본 연구는 주사기 채혈과 진공관 채혈 간에 용혈과 이로 인한 재채혈의 발생률에 차이가 있는지 알아보기 위한 것으로, 구체적인 목적은 다음과 같다.

첫째, 채혈 후 용혈정도와 재채혈의 발생률을 확인한다.

둘째, 주사기 채혈과 진공관 채혈 간의 채혈관련 특성의 차이를

파악한다.

셋째, 주사기 채혈과 진공관 채혈 간의 용혈 및 재채혈의 발생률에 대한 차이를 파악한다.

3. 가설

1) 주사기 채혈군과 진공관 채혈군 간의 용혈 발생률은 차이가 있을 것이다.

2) 주사기 채혈군과 진공관 채혈군 간의 용혈로 인한 재채혈 발생률은 차이가 있을 것이다.

4. 용어 정의

1) 용혈

용혈은 적혈구의 세포막이 파괴되어 그 안의 헤모글로빈 등 세포 내 내용물이 혈구 밖으로 흘러나오는 현상으로(Chi, 2009), 본 연구에서는 채혈로 인해 발생하는 경우로 원심 분리된 혈장을 경험에 있는 임상병리사가 육안식별을 통해 보이는 헤모글로빈(붉은 색)의 정도로 정의한다.

2) 채혈

채혈이란 혈액 검사물을 얻기 위해 선정된 혈관의 상단을 최저혈압에 상당하는 정도로 묶고 주먹을 꼭 쥐게 하여 정맥을 노출시킨 후 멸균주사기 바늘을 혈관내에 삽입한 후 곧 바로 고무줄과 주먹을 풀고 채혈을 한 다음 혈액을 시험관에 넣는 것을 말하며(Chi, 2009), 본 연구에서는 주사기 채혈과 진공관 채혈을 말하며 구체적인 내용을 다음과 같다. 주사기 채혈은 주사기에 달린 주사바늘을 이용하여 정맥을 천자한 후 채혈된 혈액을 채혈관으로 옮기는 방법을 말하며, 진공관 채혈은 정맥혈을 수집하기 위해 진공관 채혈세트(진공관, 진공관용 주사바늘, 진공관 컨넥터)를 이용하여 채혈하는 방법을 말한다.

연구 방법

1. 연구 설계

본 연구는 주사기 채혈과 진공관 채혈 간에 용혈과 이로 인한 재채혈의 발생률에 차이가 있는지를 확인하기 위해 횡단적으로 관찰한 서술적 비교조사연구이다.

2. 연구 대상

본 연구는 2010년 4월 1일부터 2010년 4월 10일까지 서울소재 S상 급종합병원 응급실에서 의사의 처방에 따라 전해질 검사를 위해 채혈이 요구되는 20세 이상의 성인을 대상으로 주사기나 진공관으로 채혈한 환자의 혈액을 모집하였으며, 다음의 경우는 분석대상에서 제외하였다.

- 1) 손이나 팔이 아닌 곳에서 채혈한 경우
- 2) 채혈시 20, 21, 22G 이외의 주사바늘을 사용한 경우
- 3) 검체수집을 위해 2회 이상 정맥천자를 시도한 경우
- 4) 채혈용 주사바늘을 삽입함과 동시에 수액을 연결하거나 혈액 배양검사를 실시한 경우
- 5) 심폐정지 등 응급상황에에서 채혈한 경우

대상자의 수는 PASS 2008 프로그램의 로지스틱 표본크기 추정식에 근거하여 유의수준(α) 5%, 검정력 80%, 군별 비율 5:5, OR 5.0으로 설정하였을 때 138명이 산출되어 각 군별로 69명씩 그리고 15%탈락을 고려하여 159명을 목표로 하였다. 수집된 자료는 160명이었으며 이 중 응답이 불완전한 자료 11명과 잔차확인에서 이상값으로 확인된 4명을 제외한 145명(주사기 채혈군 74명, 진공관 채혈군 71명)을 최종 대상으로 하여 자료분석에 이용하였다.

3. 연구 도구

1) 채혈관련 특성 조사지

본 연구의 채혈관련 특성을 수집하기 위한 도구는 구조화된 조사지로서 대상자의 일반적 특성에 대한 변수 6문항, 채혈관련 변수 7문항, 채혈자관련 변수 2문항 및 용혈관련 변수 3문항인 총 18문항으로 구성되었다. 구체적인 내용으로 일반적인 특성에 대한 변수는 성별, 나이, 체중, 신장, 주로 사용하는 손, 진단명이며, 채혈관련 변수는 채혈부위, 주사바늘의 크기, 토니켓 적용시간, 채혈 시도횟수, 채혈관으로 혈액 유입속도, 분주한 채혈관의 수, 검체이송방법이며, 채혈자관련 변수는 채혈된 시간과 채혈자의 근무경력이며, 용혈관련 변수는 용혈여부, 용혈정도, 재채혈 여부이다.

2) 용혈 측정도구

용혈정도를 측정하는 도구는 표준화된 시각적 용혈 사정도구를 이용하였다. 이 도구는 육안으로 식별되는 붉은 색의 정도에 따라 점수화되는 것으로 용혈이 발생하지 않은 경우는 0점, pink 색인 경우는 약간(Slight)으로 1점, dark pink색인 경우는 보통(Moderate)으

로 2점, red색인 경우는 심함(severe)으로 3점, dark red색인 경우는 매우 심함(Gross)으로 4점을 배정하였다. 시각화된 점수는 각기 10개의 검체를 추출하여 분광광도계(Beckman DU-650, Beckman Coulter, California, US)로 측정된 결과, 용혈정도가 1점인 경우는 84.6-85.2 mg/dL, 2점인 경우는 159.8-160.7 mg/dL, 3점인 경우는 326.0-341.2 mg/dL, 4점인 경우는 완전 혈액인 것으로 나타났다.

육안식별용인 표준화된 시각적 용혈 사정도구와 용혈정도를 측정하는 분광광도계(Beckman LX-20)로 측정된 용혈정도의 상관관계는 .74이므로(Cox et al., 2004), 육안식별로 측정된 용혈정도는 상당히 정확하게 측정된다고 할 수 있으며 실제 병원에서 용혈정도에 따라 재채혈을 결정할 때는 경험이 많은 임상병리사가 분리된 혈장의 색에 근거하여 주관적으로 판정한다(Grant, 2003). 또한 용혈에 대해서 Paoloni, Taghizadeh, Kouzios와 Janu (2010)은 120 mg/dL를 용혈지수로 정의하였으며, Dugan 등(2005)은 200 mg/dL를 기준으로 재채혈을 결정하였다. 이에 본 연구에서 재채혈을 결정하는 기준은 연구병원의 기준이기도 한 용혈정도가 3점 이상인 경우로 결정하였다.

4. 윤리적 고려점

본 연구는 한국임상시험가이드라인에 따라 연구병원의 임상시험심사위원회(Institutional Review Board)의 승인을 받았으며 헬싱키 선언 및 ICH GCP 지침에 따라 진행하였다. 대상자의 동의는 연구 보조자인 자료 수집자가 연구 선정기준에 부합되는 대상자에게 연구 목적과 방법, 연구로 인하여 발생하는 위험과 이득에 관한 것, 연구는 자발적으로 참여하며 언제든지 중지할 수 있다는 것, 연구중지로 인한 불이익은 없다는 것, 수집된 자료는 연구목적외로만 사용한다는 것, 연구수행과 결과발표 시 연구대상자의 익명을 보장한다는 것을 내용으로 설명문을 제시하면서 연구참여에 대한 동의를 받았다.

5. 자료 수집 절차

자료 수집은 2010년 4월 1일부터 4월 10일까지 10일간 수집되었으며 자료 수집에 앞서 S상급종합병원의 간호부서장과 진단검사의학과 부서장에게 연구의 목적과 방법을 설명하여 자료 수집에 대한 동의를 받았다. 그런 후 응급실을 이용하는 환자 중 선정기준에 부합되는 대상자를 면담하여 연구의 목적과 방법을 설명하고 연구참여에 대한 동의를 서면으로 받은 후 자료를 수집하였다.

수집되는 자료는 신뢰도를 높이고 채혈자의 숙련도에 대한 차이를 제거하기 위하여 채혈에 대한 경력이 2년 이상인 응급실 간호사

가 자료를 수집하였으며 2회에 걸쳐 연구의 목적과 채혈하는 절차 및 설문지 기입방법을 설명한 후 자료 수집에 대한 협조를 받았다.

채혈은 주사기를 이용하여 채혈(주사기 채혈군)하거나 진공관 채혈세트를 이용하여 채혈(진공관 채혈군)하도록 하였으며, 각 군에 배정하는 방식은 채혈자가 근무를 시작하는 시점으로부터 홀수번 대상자는 주사기 채혈군에, 짝수번 대상자는 진공관 채혈군에 배정함으로써 무작위 배정이 유지되도록 하였다. 채혈된 혈액은 시간이 경과함에 따라 검사결과에 영향을 주기 때문에 5분 이내 기록된 조사지와 함께 에어슈트나 자동운반함을 통해 검사실로 이송되도록 하였다.

채혈된 검체의 용혈정도에 대한 육안식별은 진단검사실의 경험이 많은 임상병리사 5인에 의해 시행되었으며, 육안으로 식별된 용혈정도는 응급실에서 보내진 조사지에 기록하여 연구자에게 전달되도록 하였다.

용혈정도를 판정하는 표준화된 시각적 용혈 사정도구는 자료 수집에 앞서 분광광도계를 이용하여 측정된 헤모글로빈의 양에 따라 나타나는 붉은 색의 정도를 디지털그림으로 설정하여 용혈정도를 판정하는데 참고가 되도록 하였다. 또한 측정의 신뢰도는 높이기 위해 설정된 디지털 그림은 용혈정도를 확인하는 검사실 벽에 부착하여 용혈정도를 판별하는데 도움이 되도록 하였다. 그리고 임상병리사들은 용혈정도에 대한 육안식별을 표준화하기 위해 측정자간 신뢰도가 .90 이상이 될 때까지 교육과 훈련을 반복하였으며, 용혈 여부를 확인하는 임상병리사는 채혈된 검체가 어느 군에 속해 있는지를 알 수 없도록 그 어떤 방법으로도 이와 관련한 정보를 주지 않음으로써 단일맹검을 유지하면서 연구를 진행하였다.

6. 자료 분석 방법

자료분석은 SPSS Statistics 19.0 version을 이용하여 전산처리하였으며, 분석 전 조사지에 기록된 자료는 코딩되어 데이터베이스로 투입되었으며 분석에 들어가기 전에 코딩의 정확성을 기하기 위해 자료를 100% 확인하였다. 자료분석을 위해 사용되는 구체적인 방법은 다음과 같다.

대상자의 채혈관련 특성은 빈도와 퍼센트 및 평균과 표준편차로, 채혈관련 변수에 따른 주사기 채혈군과 진공관 채혈군 간의 동질성 검정은 χ^2 -test나 Fisher's exact test 및 t-test로 분석하였다. 또한 주사기 채혈군과 진공관 채혈군의 용혈과 재채혈에 대한 차이검증은 문헌에서 용혈에 영향을 주는 변수로 확인된 변수 중 채혈부위, 주사바늘의 크기, 토니켓 적용시간, 분주한 채혈관의 수가 두 군 간에 동질하게 분포되지 않아서 이 변수들을 통제하기 위해 Binary Logistic Regression으로 분석하였다.

연구 결과

1. 용혈정도와 재채혈 발생률

145명으로부터 확보된 검체는 145건으로 용혈과 재채혈의 발생률에 대한 결과는 Table 1과 같다. 구체적으로 용혈 발생률은 9.0%로 나타났으며, 용혈의 정도는 ‘약간(pink)’ 5명(3.4%), ‘보통(dark pink)’ 3명(2.1%), ‘심한(red)’ 4명(2.8%), 매우 심한(dark red)’ 1명(0.7%)이었으며, 용혈로 인한 재채혈은 5명(3.4%)으로 나타났다. 각 군별로 살펴보면, 용혈은 주사기 채혈군이 5명(6.8%)이고 진공관 채혈군이 8명(11.3%)이며, 두 군간에 유의한 차이는 없었다($\chi^2 = 0.39, p = .255$). 재채혈은 주사기 채혈군이 2명(2.7%)이고 진공관 채혈군이 3명(4.2%)이며, 두 군간에 유의한 차이가 없었다($\chi^2 = 0.68, p = .480$).

2. 대상자의 채혈관련 특성과 동질성 검증

대상자의 채혈관련 특성은 Table 2와 같다. 성별은 남자가 86명(59.3%)으로 여자보다 많았으며 연령은 평균 54.4 ± 16.3세, BMI는 정상범위가 68명(50.4%)으로 가장 많았다. 진단명은 악성종양이 51명(35.2%)로 가장 많았으며, 주로 사용하는 손은 오른쪽(110명, 82.1%)이 왼쪽보다, 채혈부위는 왼쪽(73명, 52.6%)이 오른쪽보다 더 많았다. 채혈할 때 사용하는 주사바늘의 크기는 21G와 20G (108명, 77.1%)가 22G보다 많았으며, 토니켓 적용시간은 평균 61.5 ± 35.3초이며 60초 이내가 60초 이상보다 많았다. 채혈관으로 혈액 유입속도는 보통이 78명(56.1%)로 가장 많았으며, 분주한 채혈관의 수는 3.7 ± 1.5개 그리고 검체이송방법은 에어슈트(125명, 86.2%)가 자동운반함보다 많았다. 채혈된 시간은 밤번근무 시간대가 114명(78.6%)로 가장 많았고, 채혈자의 근무경력은 4.8 ± 1.6년이며 5년 이하보다 5년 이상이 더 많았다.

대상자의 채혈관련 특성에 대한 두 군간의 동질성을 검증한 결

과는 채혈부위($p = .015$), 주사바늘의 크기($p = .002$), 토니켓 적용시간($p = .013$), 분주한 채혈관의 수($p = .026$)에서 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다(Table 2).

3. 가설 검증

1) 용혈

채혈부위, 주사바늘의 크기, 토니켓 적용시간, 분주한 채혈관의 수가 통제된 상태에서 가설 1인 “주사기 채혈군과 진공관 채혈군 간 용혈 발생률은 차이가 있을 것이다”를 검증한 결과, 두 군간에 용혈 발생률은 차이가 없는 것으로 확인되었다($B = 1.97, p = .204$). 따라서 가설 1은 기각되었다(Table 3).

본 연구에서 최종 추출된 모형의 적합도를 검정해 본 결과(Table 3), -2 log likelihood값은 64.49이었고 모델 카이제곱(Model chi-square) 값도 20.86(df 6, $p = .002$)로서 최종 로지스틱 회귀모형이 주어진 자료에 적합이 잘 되었다. 또한 Hosmer-Lemeshow 통계량 값도 8.63 (df 8, $p = .375$)로 모형적합이 잘 되었음을 보여주었으며, 모형의 분류 정확도는 90.3%이었다.

2) 재채혈

채혈부위, 주사바늘의 크기, 토니켓 적용시간, 분주한 채혈관의 수가 통제된 상태에서 가설 2인 “주사기 채혈군과 진공관 채혈군 간 재채혈 발생률은 차이가 있을 것이다”를 검증한 결과, 두 군간에 재채혈 발생률은 차이가 없는 것으로 확인되었다($B = 2.36, p = .345$). 따라서 가설 2는 기각되었다(Table 3).

본 연구에서 최종 추출된 모형의 적합도를 검정해 본 결과(Table 3), -2 log likelihood 값은 29.70이었고 모델 카이제곱(Model chi-square) 값도 12.99 (df 6, $p = .043$)로서 로지스틱 회귀모형이 주어진 자료에 적합이 잘되었다. 또한 Hosmer-Lemeshow 통계량 값도 11.52 (df 8, $p = .174$)로서 모형적합이 잘 되었음을 보여주었으며, 모형의 분

Table 1. Rate of Hemolysis and Repeated Blood Sampling

(N = 145)

Variable	n (%)	SG (n = 74)		VTG (n = 71)		χ^2 or t	p
		n (%)	n (%)	n (%)	n (%)		
Hemolysis	No	132 (91.0)	69 (93.2)	63 (88.7)	0.39	.255*	
	Yes	13 (9.0)	5 (6.8)	8 (11.3)			
	Slight (pink)	5 (3.4)					
	Moderate (dark pink)	3 (2.1)					
	Severe (red)	4 (2.8)					
	Gross (dark red)	1 (0.7)					
Repeated blood sampling	No	140 (96.6)	72 (97.3)	68 (95.8)	0.68	.480*	
	Yes	5 (3.4)	2 (2.7)	3 (4.2)			

SG = Syringe group; VTG = Vacuum tube group.

*Fisher's exact test.

Table 2. Characteristics related to Blood Sampling and its Homogeneity by Group

(N=145)

Variable	n (%)	SG (n=74)	VTG (n=71)	χ^2 or t	p	
		n (%)	n (%)			
Gender	Male	86 (59.3)	46 (62.2)	0.51	.475	
	Female	59 (40.7)	28 (37.8)			
Age (yr)	Below 45	42 (29.0)	20 (27.0)	0.54	.762	
	45- <65	54 (37.2)	27 (36.5)			
	Above 65	49 (33.8)	27 (36.5)	0.77	.485	
	M ± SD	54.4 (16.3)	55.3 ± 16.9			53.4 ± 15.8
BMI (n=135)	Normal	68 (50.4)	36 (52.9)	1.05	.593	
	Low	11 (8.1)	4 (5.9)			
	High	56 (41.5)	28 (42.2)	-0.28	.781	
	M ± SD	22.7 (3.5)	22.6 ± 2.8			22.8 ± 4.1
Diagnosis	Cancer	51 (35.2)	23 (31.1)	1.14	.888	
	Digestive ds	38 (26.2)	21 (28.4)			
	Cardiopulmonary ds	17 (11.7)	9 (12.2)			
	Neurovascular ds	15 (10.3)	8 (10.8)			
	Others	24 (16.6)	13 (17.6)			11 (15.5)
Mainly using hand (n=134)	Right hand	110 (82.1)	50 (76.9)	2.29	.130	
	Left hand	24 (17.9)	15 (23.1)			9 (13.0)
Site of blood sampling (n=139)	Right Upper Extremity	66 (47.4)	27 (37.5)	5.97	.015	
	Left Upper Extremity	73 (52.6)	45 (62.5)			28 (41.8)
Size of needle (n=140)	21 & 20G	108 (77.1)	48 (66.7)	9.23	.002	
	22G	32 (22.9)	24 (33.3)			8 (11.8)
Applied time of tourniquet	< 60 sec	83 (57.2)	50 (67.6)	6.58	.012	
	≥ 60 sec	62 (42.8)	24 (32.4)			38 (53.5)
	M ± SD	61.5 (35.3)	54.4 ± 31.2	68.4 ± 37.9	-2.51	.013
Speed of blood flowing into the tube (n=139)	Average	78 (56.1)	41 (56.9)	0.86	.652	
	Slow	6 (4.3)	2 (2.8)			4 (6.0)
	Rapid	55 (39.6)	29 (40.3)			26 (38.8)
No of tube divided blood with	1-4	71 (49.0)	27 (36.5)	9.42	.002	
	≥ 5	74 (51.0)	47 (63.5)			27 (38.0)
	M ± SD	3.7 (1.5)	3.9 ± 1.6	3.4 ± 1.4	2.25	.026
Transport method of sample	Auto track	125 (86.2)	62 (83.8)	0.75	.388	
	Air shut	20 (13.8)	12 (16.2)			8 (11.3)
Time of blood sampling	Day	23 (15.9)	14 (18.9)	1.06	.588	
	Evening	8 (5.5)	4 (5.4)			4 (5.6)
	Night	114 (78.6)	56 (49.1)			58 (81.7)
Carrier of blood drawn person	< 5 Years	49 (33.8)	27 (36.5)	0.49	.484	
	≥ Above 5 Years	96 (66.2)	47 (63.5)			49 (69.0)
	M ± SD	4.8 (1.6)	5.0 ± 1.6			4.7 ± 1.6

SG = Syringe group; VTG = Vacuum tube group

*Fisher's exact test; ds = disease.

류 정확도는 97.0%이었다.

논 의

채혈된 검체의 용혈은 응급실 환자의 빠른 진단과 치료 및 만족도 제고에 저해요소가 된다. 그러나 국내에서는 채혈로 인한 용혈을 주제로 연구한 문헌은 거의 없다. 이런 실정에서 응급실에서 채혈로 인한 용혈과 재채혈의 발생률을 알아보고 주사기 채혈이 진공관 채혈에 비해 용혈과 재채혈의 발생률이 높지 않음을 확인해 보고자 수행된 본 연구는 그 의미가 크다. 그렇지만 본 연구에서 제시

된 결과는 용혈에 영향을 주는 요인을 충분히 통제하지 않은 상태에서 결과가 도출되었다. 이러한 제한점을 염두에 두고 연구 결과에 따른 주요사항을 논의해 보면 다음과 같다.

본 연구에서 용혈 발생률은 9.0%로 나타났다. 이 결과는 Kennedy 등(1996)의 연구 결과인 9.1%와 유사하지만 Saleem 등(2009)의 6.5%와 비교하면 높고 Dugan 등(2005)의 12.8%, Ong 등(2008)의 19.8%, Grant (2003)의 32% 등과 비교하면 낮은 수준이다. 용혈로 인한 재채혈률은 3.4%인 것으로 나타났다. 이는 Dugan 등의 연구 결과인 3.7%와 유사하나, Grant의 연구 결과인 13%보다는 낮은 수준이다.

본 연구에서 용혈과 재채혈의 발생률이 상대적으로 낮은 것은 용

Table 3. Comparison of Hemolysis and Repeated Blood Sample

(N=145)

Variable	B	Exp (B)	95% CI	p
Hemolysis*				
Site of blood sampling	1.11	3.05	0.71-13.14	.135
Size of needle	19.31		0.00	.998
Application time for tourniquet	0.03	1.03	1.01-1.06	.012
No of tubes to which blood was divided	0.17	1.18	0.74-1.90	.490
Method of blood sampling	1.97	7.17	0.34-149.94	.204
Method of blood sampling*Application time for tourniquet	-0.02	0.98	0.94-1.02	.249
(Constant)	-25.01	0.00		.997
Repeated blood sampling†				
Site of blood sampling	1.70	5.5	0.46-65.47	.181
Size of needle	18.01		0.00	.998
Application time for tourniquet	0.03	1.03	0.99-1.06	.121
No of tubes to which the blood was divided	0.57	1.77	0.85-3.66	.127
Method of blood sampling	2.36	10.57	0.08-1415.63	.345
(Constant)	-26.54	0.00		.997

CI= Confidence interval; Site of blood sampling: Left upper extremity(1) vs Right upper extremity(0); Size of needle= 22G(1) vs 20 & 21G(0), Method of blood sampling: Vacutainer(1) vs Syringe(0).

*Hemolysis: -2 log likelihood=64.49, Model χ^2 for df 6=20.86 ($p=.002$); Hosmer-Lemeshow χ^2 for df 8=8.63($p=.375$), Percentage of correct prediction=90.3%; †Repeated blood sampling: -2 log likelihood=29.70, Model χ^2 for df 6=12.99($p=.043$), Hosmer-Lemeshow χ^2 for df 8=11.52 ($p=.174$), Percentage of correct prediction=97.0%.

혈과 재채혈의 발생률이 주사기 채혈과 진공관 채혈 간에 차이가 있는지를 검증하기 위해 용혈발생에 영향을 주는 부분들을 통제했기 때문인 것으로 생각된다. 예를 들면 채혈자와 주사바늘의 크기 등을 통제하지 않은 Dugan 등(2005)의 연구와 달리 본 연구에서 채혈자는 2년 이상의 경력자로, 채혈 시 주사바늘의 크기는 일반적으로 권장되는 20, 21, 22G로 제한을 하였으며, 용혈이 많이 발생한다는 IV캐놀라를 사용하여 채혈한 경우를 포함한 Grant (2003)의 연구와 달리 본 연구에서는 IV캐놀라를 이용하여 채혈한 경우는 제외하였다. 용혈과 재채혈을 판정하는 기준도 용혈과 재채혈의 발생률에 영향을 준 것으로 사료된다. Grant의 연구에서 용혈과 재채혈 발생률은 32%와 13%로 매우 높았는데, 이것은 용혈과 재채혈에 대한 판정을 임상병리사의 주관적인 판단에 의거했기 때문으로 유추된다. 본 연구에서는 용혈정도와 재채혈을 객관적으로 정확하게 판정하기 위해 임상병리사에게 시각적 용혈 사정도구를 제시하여 용혈을 판정하는데 참고가 되도록 하였으며 판정에 참여하는 임상병리사들의 반복훈련을 통해 용혈 판정에 대한 신뢰도를 높이는 조치를 하였다. 용혈은 검사종류에 따라 결과를 변화시켜 환자의 진단과 치료에 중대한 영향을 미치므로 재채혈을 하게 되며 이로 인해 진료지연과 환자불편으로 이어진다. 검사결과의 부정확성과 환자의 불편감 방지를 위해 검사종류에 따라 재채혈되어야 하는 통일된 용혈기준이 마련되어야 하겠다.

또한 용혈 발생률이 Saleem 등(2009)의 연구 결과는 6.5%로 본 연구 결과인 9%와 비교하면 낮다. 이처럼 용혈 발생률이 낮은 것은 용혈감소를 위한 질보장 활동이 개입되었기 때문인 것으로 생각된다. Ong, Chan과 Lim (2009)은 질 보장활동을 통해 용혈 발생률을

19.8%에서 4.9%로 감소시켰다. 최상의 실무를 위해 채혈로 인한 용혈 발생률은 최소한으로 관리해야 한다. 용혈과 재채혈의 발생률이 높으면 응급실 이용환자의 진료지연 및 불편감을 가중시키고 응급실 체류시간을 증가시켜 병원만족도에 큰 영향을 준다. 따라서 이를 문제점으로 인식하고 개선하기 위해 용혈발생의 원인을 찾고 이에 대한 해결방안을 찾아 실천에 옮기고 그 결과를 다시 확인하여 확대, 지속하는 질 보장활동을 해야 하며 이를 위해 용혈의 발생률을 지속적으로 모니터링하고 관리하는 응급실 운영정책이 필요하다.

용혈과 재채혈의 발생률이 주사기 채혈과 진공관 채혈 간에 차이가 있는지를 검증하기 위해서는 용혈과 재채혈에 영향을 주는 채혈 관련 변수가 두 집단 간에 동일해야 한다. 본 연구에서 두 집단 간에 동일성이 확보되지 않은 채혈관련 변수는 채혈부위, 주사바늘의 크기, 토니켓 적용시간, 분주한 채혈관의 수로 확인되었으며 이중 용혈에 영향을 주는 변수는 토니켓 적용시간으로 나타났다. Saleem 등(2009)에 의하면 토니켓 적용시간은 길수록 용혈 발생률이 높아 지므로 토니켓은 60초 이하로 적용할 것을 권장하였다. 본 연구에서 토니켓 적용시간은 평균 61.5±35.3초로 채혈할 때 권장되는 범주와 유사하다. 그렇지만 토니켓 적용시간이 주사기 채혈군은 54.4±31.2초이며 진공관 채혈군 68.4±37.9초로 진공관 채혈군에서 유의하게 길었다. 본 연구가 시행된 병원은 검체의 용혈방지를 위해 진공관 채혈을 권장하고 있다. 그러나 간호사들은 여전히 주사기 채혈을 선호하므로 진공관 채혈에 익숙하지 않으며 그 결과, 채혈하는 시간이 길어지면서 토니켓 적용시간이 길어졌을 것으로 추정된다. 추후 진공관 채혈로 용혈관련 연구를 할 때는 진공관 채혈이 익숙한 시술자로부터 자료를 수집할 것을 권고한다.

본 연구에서 용혈 발생률은 주사기 채혈군 6.8%, 진공관 채혈군 11.3%이며 이로 인한 재채혈 발생률은 주사기 채혈군 2.7%, 진공관 채혈군 4.2%로, 주사기 채혈군과 진공관 채혈군 간에 용혈과 재채혈은 통계적으로 유의한 차이가 없는 것으로 나타났으며($B=1.97$, $p=.204$; $B=2.36$, $p=.345$), 이 결과는 주사기 채혈이 진공관 채혈에 비해 용혈이 더 발생하지 않음을 보여준다. 고찰한 문헌 중 주사기 채혈과 진공관 채혈 간 용혈 발생률을 비교한 연구가 없어 본 연구 결과와 채혈방법이 비슷한 Dugan 등(2005)의 연구와 비교해 보면, 용혈 발생률이 주사기 채혈군 13.5%, 진공관 채혈군 12.6%로 두 군 간에 유의한 차이가 없어 본 연구 결과와 유사하다. 즉 주사기 채혈이 진공관 채혈에 비해 용혈이 더 많이 발생되지 않음을 보여주고 있다.

그러나 Sharp과 Mohammad (1998)은 용혈 발생률이 주사기 채혈 19%, 진공관 채혈 3%로 주사기 채혈에서 용혈이 더 많이 발생되었고, Kennedy 등(1996)도 진공관 채혈이 정맥주사관 채혈보다 용혈 발생률이 3.8%로 낮았으며, 이 두 연구에서 모두 용혈방지를 위해 진공관 채혈을 권장하였다. 미국에서는 채혈할 때 검체의 안전과 용혈방지 및 시술자의 안전을 위해 진공관 채혈을 권장하고 있으며 (Yoon, 2007) 본 연구가 진행된 병원의 임상병리과에서도 용혈방지를 위해 진공관 채혈을 권장하고 있다. 이와 다르게 Ong 등(2008)은 오히려 진공관 채혈이 주사기 채혈에 비해 6배 정도 용혈이 많이 발생된다고 하면서 후속연구에서도 주사기 채혈이 진공관 채혈보다 용혈이 적게 발생했을 뿐 아니라 이로 인해 채혈관련 진료재료 구입 비용을 연간 203,037달러 절감했다고 보고하였다(Ong et al., 2009). Grant (2003)의 연구에서도 정맥주사관을 통해 채혈한 경우 주사기 채혈이 진공관 채혈보다 용혈과 재채혈의 발생률이 낮았다.

이와 같이 고찰된 문헌과 본 연구 결과에 의하면 주사기 채혈이 진공관 채혈보다 용혈과 재채혈이 더 많이 발생된다고 볼 수 없다. 따라서 응급실에서 근무하는 간호사들이 채혈할 때 선호하는 주사기 채혈을 굳이 금할 필요가 없다고 생각한다. 더불어 주사기 채혈을 하는 경우는 진공관 채혈을 하는 경우보다 진료재료를 구입하는 비용이 저렴하므로 비용효과 측면에서도 주사기 채혈은 부가되는 이점이 있다.

한편 연구마다 주사기 채혈과 진공관 채혈 간의 용혈 발생률이 상반된 결과로 발표되는 경우가 많다. 이것은 용혈에 영향을 주는 채혈관련 변수들이 많으며 연구설계나 연구를 진행하는 과정에서 변수들이 다른 변수나 환경과 상호작용 하면서 연구 결과를 변화시켰기 때문인 것으로 생각된다. 따라서 추후 용혈관련 연구를 수행할 때는 관련변수들을 충분히 고려하여 통제하고 표본수를 확대하는 후속연구를 제안한다. 또한 본 연구에서 보고된 용혈 발생률은 국외 연구 결과와 비교할 때 결코 낮은 수준이 아니다. 응급실

직원이나 조직은 응급실 이용환자를 위한 진료지원, 만족도 향상 및 병원업무의 효율적인 운영을 위해 용혈 발생률을 감소시키는 적극적인 방안을 논의하고 이를 개선하는 노력을 경주하여야 하겠다.

이상의 논의로 종합해 보면, 본 연구 결과는 주사기 채혈이 진공관 채혈에 비해 용혈과 재채혈의 발생률이 높지 않음을 확인함으로써 간호사들이 응급실에서 주사기 채혈을 계속할 수 있는 근거를 제공하여 업무편의성과 비용효과적인 업무수행에 기여할 수 있게 하였고, 궁극적으로는 안전하고 실제적인 환자케어를 가능케 하는 근거중심의 간호를 구현하는데 도움이 될 것이다.

결론

응급실 이용환자의 진단과 치료를 위해 시행되는 혈액검사는 용혈이 원인이 되어 재채혈을 하게 되는 경우가 많으며 이는 환자의 만족도 저하와 업무의 비효율로 연계되므로, 병원에서는 용혈 감소를 위해 진공관 채혈세트를 사용할 것을 권장하고 있다. 그러나 응급실에서 채혈을 담당하는 간호사들은 채혈할 때 접근이 쉽고 손에 익숙한 주사기 사용을 선호한다. 이에 본 연구는 주사기 채혈과 진공관 채혈 간에 용혈 및 재채혈의 발생률에 대한 차이를 비교해 보고자 시도되었으며, 연구 결과에 따른 결론은 다음과 같다.

첫째, 용혈 발생률이 임상병리협회에서 정도관리를 위해 제시된 기준보다 높으므로 용혈 발생률을 감소시키는 노력이 적극적으로 요구된다. 둘째, 주사기 채혈군과 진공관 채혈군 간 용혈과 재채혈의 발생률은 차이가 없는 것으로 확인되었다. 따라서 응급실 현장에서 채혈을 담당하는 간호사들은 평소 손에 익숙하고 접근이 용이한 주사기를 사용함으로써 채혈에 대한 심리적 부담감을 줄일 수 있으며 진공관 채혈세트보다 상대적으로 저렴한 주사기를 사용함으로써 비용절감에 대한 효과를 가져 올 수 있을 것으로 사료된다.

이상의 연구 결과를 토대로 다음과 같은 제언을 하고자 한다. 첫째, 채혈로 인한 용혈을 감소시키기 위해 용혈 및 재채혈의 발생률에 대한 주기적인 모니터링과 채혈관련 변수 중 개선이 필요한 부분을 업무지침에 반영하고 이를 교육하여 지키도록 하는 업무개선 활동을 제언한다. 둘째, 본 연구는 일개 병원을 대상으로 수행된 연구이기 때문에 일반화를 위해 연구기관을 확대하여 수행해 보는 반복연구 및 용혈을 발생시키는 요인을 규명해 보는 연구를 제언한다.

REFERENCES

- Chi, J. G. (2009). *Medical dictionary* (2nd ed.). Seoul: Academia.
- Cox, S. R., Dages, J. H., Jarjoura, D., & Hazelett, S. (2004). Blood samples drawn from IV catheters have less hemolysis when 5-ml(vs 10-ml) collection tubes are used. *Journal of Emergency Nursing*, 30, 529-

533. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jen.2004.10.004>
- Derlet, R. W., Richards, J. R., & Kravitz, R. L. (2001). Frequent overcrowding in U.S. emergency departments. *Academic Emergency Medicine*, 8, 151-155. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1553-2712.2001.tb01280.x>
- Dugan, L., Leech, L., Speroni, K. G., & Corriher, J. (2005). Factors affecting hemolysis rates in blood samples drawn from newly placed IV sites in the emergency department. *Journal of Emergency Nursing*, 31, 338-345. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jen.2005.05.004>
- Fang, L., Fang, S. H., Chung, Y. H., & Chien, S. T. (2008). Collecting factors related to the haemolysis of blood specimens. *Journal of Clinical Nursing*, 17, 2343-2351. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-2702.2006.02057.x>
- Fernandes, C. M., Walker, R., Price, A., Marsden, J., & Haley, L. (1997). Root cause analysis of laboratory delays to an emergency department. *The Journal of Emergency Medicine*, 15, 735-739. [http://dx.doi.org/10.1016/S0736-4679\(97\)00158-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0736-4679(97)00158-3)
- Grant, M. S. (2003). The effect of blood drawing techniques and equipment on the hemolysis of ED laboratory blood samples. *Journal of Emergency Nursing*, 29, 116-121. <http://dx.doi.org/10.1067/men.2003.66>
- Hong, S. H., & Kim, Y. H. (1981). The effect of in vitro hemolysis on various chemistry values. *Inje Medical Journal*, 2, 345-350.
- Kennedy, C., Angermuller, S., King, R., Noviello, S., Walker, J., Warden, J., et al. (1996). A comparison of hemolysis rates using intravenous catheters versus venipuncture tubes for obtaining blood samples. *Journal of Emergency Nursing*, 22, 566-569. [http://dx.doi.org/10.1016/S0099-1767\(96\)80213-3](http://dx.doi.org/10.1016/S0099-1767(96)80213-3)
- Kim, E. J. (1998). Work analysis for the role of the emergency department nurses. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 28, 93-103.
- Kim, J. H. (1998). Comparison of blood glucose concentrations from capillaries and veins in SMBG. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 28, 143-147.
- Kim, K. J., Lee, H. R., & Kim, K. (1995). A study on the job activities of the emergency nurse. *Journal of Korean Academy of Nursing*, 25, 709-728.
- Lowe, G., Stike, R., Pollack, M., Bosley, J., O'Brien, P., Hake, A., et al. (2008). Nursing blood specimen collection techniques and hemolysis rates in an emergency department: Analysis of venipuncture versus intravenous catheter collection techniques. *Journal of Emergency Nursing*, 34, 26-32. <http://dx.doi.org/10.1016/j.jen.2007.02.006>
- Ong, M. E., Chan, Y. H., & Lim, C. S. (2008). Observational study to determine factors associated with blood sample haemolysis in the emergency department. *Annals of the Academy of Medicine, Singapore*, 37, 745-748.
- Ong, M. E., Chan, Y. H., & Lim, C. S. (2009). Reducing blood sample hemolysis at a tertiary hospital emergency department. *American Journal of Medicine*, 122, 1054.e1-1054.e6. <http://dx.doi.org/10.1016/j.amjmed.2009.04.024>
- Paoloni, R., Taghizadeh, M., Kouzios, D., & Janu, M. (2010). Blood withdrawn through a cannula valve connector does not result in clinically significant haemolysis. *Emergency Medicine Australasia*, 22, 310-315. <http://dx.doi.org/10.1111/j.1742-6723.2010.01301.x>
- Saleem, S., Mani, V., Chadwick, M. A., Creanor, S., & Ayling, R. M. (2009). A prospective study of causes of haemolysis during venepuncture: Tourniquet time should be kept to a minimum. *Annals of Clinical Biochemistry*, 46, 244-246. <http://dx.doi.org/10.1258/acb.2009.008228>
- Sharp, M. K., & Mohammad, S. F. (1998). Scaling of hemolysis in needles and catheters. *Annals of Biomedical Engineering*, 26, 788-797. <http://dx.doi.org/10.1114/1.65>
- Yoon, Y. J. (2007). *A study on marketing strategy of medical devise: Focusing on vacuum tube*. Unpublished master's thesis, Hanyang University, Seoul.