

Pediatrics

응급의료센터에 내원한 중증 소아 환자에게 시행한 골내 주사의 경험

아주대학교병원 응급의학교실, 아주대학교 의료원 지역사회 안전증진연구소¹

이정주 · 민영기 · 김아정¹ · 이지숙

Experience of Using the Intraosseous Access to Critical Pediatric Patients in a Tertiary Emergency Department

Jeong Ju Lee, M.D., Young Gi Min, M.D., A Jung Kim, M.S.¹, Ji Sook Lee, M.D.

Purpose: Intraosseous infusion is a safe and effective vascular access route in critically ill patients, especially in the pediatric population. Use of intraosseous access has shown a recent increase in Korea, but this procedure is not well reported. The aim of this study is to evaluate the clinical characteristics and outcomes of intraosseous infusion.

Methods: This study was a retrospective chart review of pediatric patients who received intraosseous infusion at a tertiary emergency department between April 2010 and March 2014. Their clinical characteristics and outcomes were evaluated.

Results: A total of 30 patients participated; 25 patients were cardiac arrest, three were status epilepticus, one was septic shock, and one was severe hypovolemic shock. Final procedure success rate was 90% and average 1.63 attempts were performed per child. Finally 12 patients survived over 24 hours. In particular, all patients of non-cardiac arrest survived and were discharged successfully from our hospital. Median maintenance time of the intraosseous device among survived patients was 112 minutes. No complications were reported.

Conclusion: Intraosseous infusion in the emergency department was a very effective procedure for cardiac arrested patients and critically ill patients in whom access to

the vascular route was difficult.

Key Words: Intraosseous infusions, Pediatrics, Cardiac arrest

Department of Emergency Medicine, School of Medicine, Ajou University, Center for Community Safety Promotion, Ajou University Medical Center, Suwon, Korea¹

Article Summary

What is already known in the previous study

Intraosseous infusion is a safe and effective vascular access route in critically ill patients, especially in the pediatric population. Use of intraosseous access has shown a recent increase in Korea, but this procedure is not well reported.

What is new in the current study

In our data, intraosseous infusion in the emergency department was an useful procedure for critically ill patients in whom access to the vascular route was difficult, as well as children with cardiac arrest.

서 론

응급실에서 심정지 환자나 질환 또는 외상에 의해 쇼크 상태에 있는 환자를 치료하기 위해 신속히 수액로를 확보하는것은 초기 치료에 있어 매우 중요하다. 이러한 중증 상태에서는 혈관의 허탈로 인해 말초정맥로의 확보가 어려우며 소아의 경우 그 어려움은 더 크다. 성인에 비하여 소아에서는 중심정맥로 확보도 쉽지 않은 술기이며 이를 위해 지체되는 시간도 비교적 길다. 이에 대한 대안으로 미국과 유럽에서는 중증 소아 환자에서 정맥로 확보의 어려움을 보완하기 위하여 골내 주사를 시행하도록 권고하고 있다^{1,2)}.

골내 주사는 1922년 Drinker 등³⁾이 동물 모델에서 골수 내로 수액을 주입하였을 때 중심 순환으로 빨리 흡수된다는 것을 발견하면서 현장에 도입되었으며, 이 후 세계 2차

책임저자: 이 지 숙
경기도 수원시 영통구 월드컵로 164
아주대학교 의과대학 응급의학교실
Tel: 031) 219-7750, Fax: 031) 219-7760
E-mail: eesysock@naver.com

접수일: 2014년 6월 28일, 1차 교정일: 2014년 6월 30일
게재승인일: 2014년 9월 22일

대전에서 보편적으로 사용되었으나 플라스틱 정맥용 카테터와 중심정맥관 등의 발달로 인하여 골내 주사의 시행빈도는 감소추세에 있었다. 그러나 골내 주사 시행방법의 편리성과 신속히 수액을 확보할 수 있다는 장점 덕분에 1980년대 초 미국심장협회에서 제안한 소아전문소생술 (Pediatric advanced life support, PALS) 가이드라인에서 6세 미만에서 정맥로 확보를 실패한 경우 골내 주사를 사용할 것을 처음 추천하였다⁴⁾. 2008년 미국외상학회와 2009년 미국중환자의학회, 2010년 개정된 PALS 지침에서도 신생아나 소아의 심정지 상황에서는 초기에 골내 주사를 삽입할 것과 심정지에 임박한 상황에서도 정맥로 확보가 어려울 것으로 판단되는 경우 적극적으로 골내 주사를 사용하도록 권장하고 있다⁵⁻⁷⁾.

국내의 경우 골내 주사는 2007년 시행된 PALS 도입 후 적응증과 사용방법에 대한 교육을 강화하기 시작하였다. 본원 응급실의 경우 2010년 골내 주사에 대한 처치 코드가 생성되고 건강 보험이 적용되면서 사용이 늘어나고 있다. 그러나 현재까지 국내의 소아 환자를 대상으로 골내 주사의 임상 경험에 대한 보고가 없었기에 아주대병원 권역 응급의료 센터에서 4년간 시행한 골내 주사의 경험을 분석해보았다.

대상과 방법

1. 연구 대상 및 기간

2010년 4월 1일부터 2014년 3월 31일까지 아주대병원 권역 응급의료센터 응급실에 내원한 0세부터 18세의 환아들을 대상으로 하였다. 응급실에서 처치 코드로 “intraosseous injection”, 재료 코드로 “15 gauge 25 mm EZ-IO NEEDLE”, “15 gauge 15 mm EZ-IO NEEDLE”를 처방한 환자를 대상으로 선정하였다. 이 연구는 본원의 기관생명윤리위원회의 승인을 받고 시행하였다.

2. 연구 방법 및 내용

대상이 된 환자의 의무기록을 후향적으로 검토하였다. 환자의 나이, 체중, 내원 당시 주증상, 골내 주사 시행 이유, 골내 주사 성공 여부, 골내 주사 시도 횟수, 골내 주사 최종 삽입 위치, 골내 주사 시행자의 특성, 응급실에서의 치료 결과, 골내 주사의 합병증 발생 여부 등을 조사하였다.

삽입 성공 여부는 바늘이 삽입된 후 외부의 지지 없이 잘 서있고, 수액 주입 시 주변이 붓지 않고, 중력에 의해 일정한 속도로 점적 주입이 되었을 때 성공하였다고 판단하였다. 본 연구는 후향적 의무기록을 검토한 것으로 삽입 시도 이후 10분 이내에 바늘을 제거하였거나 간호 기록상 삽입

부위 부종이 발생하거나 바늘이 빠진 경우, 수액이 주입되지 않는 경우는 실패로 간주하였다.

연구 대상이 된 환자들에게 사용된 골내 주사 도구는 EZ-IO (Vidacare co. San Antonia, Texas, USA)였다. 이 장비는 배터리가 장착된 반자동 드릴 형태의 39 kg 이하의 환자를 위한 15 gauge 15 mm와 39 kg 초과 환자를 위한 15 gauge 25 mm 중 환자의 체중을 고려하여 적절한 것을 선택하여 사용하였다. 2007년 이후 아주대병원 응급 의학과와 소아청소년과 전공의들 및 전문의들은 원내의 PALS 과정을 통해 2년마다 주기적으로 골내 주사 삽입에 대한 이론 교육과 실습 교육을 받고 있다.

3. 통계학적 분석

통계프로그램은 SPSS 15.0 (SPSS inc., Chicaco, IL, USA)을 이용하였으며, 명목변수는 빈도와 백분율로, 연속 변수는 중위수와 최소-최대값 범위 또는 평균과 표준편차로 나타내었다. 시행자에 따른 성공률 비교를 확인하기 위하여 Fisher's exact test를 이용하였고 $p < 0.05$ 인 경우를 통계적으로 유의하다고 판단하였다.

결 과

1. 환자의 일반적 특성

총 30명이 응급실에서 골내 주사를 시행 받았다. 환자 성별은 18명 (58%)이 남자였고 나이의 중위값은 6개월 (1일~138개월), 체중의 중위값은 6.8 kg (2.5 kg~40 kg)이었다.

응급실 내원 시 주 진단은 심정지 25명, 간질지속증 3명, 심한 설사에 의한 저혈량성 쇼크 1명, 폐렴으로 인한 패혈성 쇼크가 1명이었다. 골내 주사 삽입 이유로는 심정지 상황으로 내원 즉시 골내 주사를 시행한 경우가 11명, 다른 정맥로 확보에 실패하여 시행한 경우가 14명이었다. 심정지 외 5명의 환자도 말초정맥로 확보에 실패하여 골내 주사를 삽입하였다 (Table 1).

2. 골내 주사 삽입의 시도 및 성공률

30명 중 27명에게 골내 주사가 성공적으로 삽입되어 최종 성공률 90%이었고 평균 골내 주사 시도횟수는 1.63회였다. 첫 번째 삽입 시도에서 골내 주사에 성공한 경우는 17명으로 초회 성공률은 54.8%이었고, 두 번째 시도에서 성공한 환자는 5명, 3번의 시도에서 성공한 환자가 5명이었다. 최종적으로 3명의 환자는 골내 주사 삽입에 실패하였는데 모두 4개월 이하의 어린 영아였다. 1명은 생후 1일

Table 1. Patient characteristics of selected patients.

Characteristics (n=30)	
Month of age, median (range)	6 (1 day~138 month)
Male, n (%)	18 (58%)
Weight, median (range)	6.8 kg (2.5-40)
Diagnosis at ED presentation (n, %)	
Cardiac arrest	25 (83%)
Status epilepticus	3 (10%)
Hypovolemic shock due to severe diarrhea	1 (3%)
Septic shock due to pneumonia	1 (3%)
Reason for insertion (n, %)	
Prompt insertion without intravenous try in cardiac arrest	11 (37%)
Insertion after intravenous fails in cardiac arrest	14 (47%)
Insertion after intravenous fails in other diagnosis	5 (17%)

ED: emergency department

Table 2. Intraosseous insertion sites and success rates.

IO* insertion sites (n=49)	n (%)	
Right tibia	20 (41%)	
Left tibia	14 (29%)	
Right humerus	1 (2%)	
Unknown	14 (29%)	
Success rate according to operators		<i>p</i> -value
Emergency physicians	7/13 (54%)	0.82
Emergency residents	14/23 (61%)	
Pediatric residents	7/14 (50%)	

* Intraosseous

Table 3. survival rate in cardiac arrest patient with IO insertion.

Cardiac arrest (n=25)	n (%)
IO succeeded	22
Survived	7 (32%)
Expired	15 (68%)
IO failed	3
Survived	0 (0%)
Expired	3 (100%)

된 신생아로 심정지 상태로 내원하여 골내 주사를 시도하였으나 실패하여 제대동맥관 삽입을 시행하였고, 나머지 2명은 각 1개월과 4개월로 심정지 상황에서 한 차례 골내 주사 삽입에 실패하고 동시에 시행한 말초정맥로가 확보된 경우였다.

총 49례의 골내 주사 삽입 시도가 있었는데 삽입 시도 위치는 오른쪽 정강뼈 20례, 왼쪽 정강뼈 14례, 오른쪽 위 팔뼈 1례, 기록 미비로 인하여 위치를 알 수 없는 경우가 14례이었다.

시행자에 따른 성공률은 응급의학과 전문의가 13회의 시도 중 7회 성공(54%), 응급의학과 전공의가 23회의 시

도 중 14회의 성공(61%), 소아청소년과 전공의가 14회의 시도 중 7회 성공(50%)하였으며 각 군별로 통계적인 차이는 없었다(Table 2).

3. 응급실에서 진료 결과 및 골내 주사 합병증

응급실에서 골내 주사를 통한 소생술 후 24시간 이상 생존한 환자는 총 12명이었다. 심정지 환자 25명 중 22명에게 골내 주사가 성공적으로 되었고 이 중 7명인 31.8%가 24시간 이상 생존한 반면, 골내 주사 삽입에 실패한 3명은 모두 응급실에서 사망하였다(Table 3). 간질지속증, 저혈량성 쇼크, 패혈성 쇼크로 말초정맥로 확보가 되지 않아 골내 주사를 삽입하였던 5명은 모두 생존하여 퇴원하였다.

생존한 환자에서 골내 주사 유지기간의 중위값은 112분(18분~957분)이었으며 골내 주사를 이용하여 소생술을 시행한 후 안정적인 말초정맥로가 확보되거나 중심정맥관이 삽입된 후 제거하였다. 24시간 이상 골내 주사를 유지한 경우는 없었다. 생존 환자의 입원 기간의 중위수는 25일(최소~최대값 범위; 4일~127일)이었으며 입원 기간 중 골내 주사 부위의 합병증이 발견되어 추가적인 치료나 검사를 받은 경우는 없었다.

고 찰

본 연구는 응급실에서 소아 환자에게 시행한 골내 주사의 경험에 대한 첫 번째 국내 보고이다. 총 30명 중 90% (27명)에게 골내 주사가 성공적으로 삽입되었고, 심정지 외에 간질지속증이나 여러 요인의 쇼크에 의해서 심혈관 허탈 상황이 발생한 16.7% (5명)의 환자가 골내 주사를 통해 모두 성공적으로 소생되었음을 알 수 있었다.

2007년 처음 보고된 국내 골내 주사 현황에 따르면 국내 40여개 응급실 중 17%만이 골내 주사를 가끔 사용하는 것에 불과하였다⁸⁾. 그러나 2007년부터 국내에 미국심장협회의 PALS 과정이 도입되어 소아 소생술에 있어 골내 주사의 유용성이 강조되고 교육의 기회가 늘어나기 시작하였다. 2008년 Lee 등¹¹⁾이 전공의를 대상으로 한 골내 주사 실습의 교육 효과를 비교하여 보고하였고, 2009년 Lee 등²⁾이 동물뼈 모델을 통한 골내 주사 연구, 2012년 You 등⁹⁾도 성인을 대상으로 골내 주사 성공을 초음파로 확인하여 안정성에 대한 보고 등을 발표하며 소아뿐만 아니라 성인에서도 골내 주사에 대한 응급의학과 의사들의 관심도 높아가고 있다. 하지만 2012년 Kim 등¹⁰⁾이 설문 조사를 통해 응급실에서 골내 주사 치료 현황 및 장비 준비 상태를 보고한 바에 따르면 2012년에도 응급실에 골내 주사 장비가 갖춰진 곳은 40.7%에 불과하였다. 이러한 국내 상황에서 중증 소아 환자의 치료 시 약물 및 수액 처치를 위해 필수적인 역할을 할 수 있는 골내 주사의 실제 사용 경험을 공유하는데 본 연구의 의의가 있으리라 생각한다.

본 연구에 포함된 환자의 연령은 생후 1일에서 138개월이었다. 이후의 연령의 청소년은 성인과 마찬가지로 중증 상황에서도 말초정맥이나 중심정맥 확보가 어린 소아에 비하여 상대적으로 쉬워 골내 주사를 사용하지 않았던 것으로 생각된다. 따라서 어린 중증 소아일수록 골내 주사의 필요성이 더 강조되어야 할 것으로 보인다.

본 연구 결과에서 골내 주사의 최종 성공률은 90%, 초회 성공률은 54.8%, 평균 시도 횟수는 1.63이었다. 1993년 Glaeser 등¹²⁾은 10세 이하 소아 환자에게 76% 골내 주사 성공률을 보고하였고, 2000년 Nijssen-Jordan¹³⁾은 6년간 42명의 소아 심정지 상황에서 골내 주사의 성공률을 86%, 평균 시도 횟수를 1.6회로 보고하여 본 연구보다 상대적으로 낮은 성공률을 보고하였다. 반면 2005년 Friorito 등¹⁴⁾은 병원전단계에서 의사와 응급구조사 등이 시행한 소아 골내 주사의 첫 번째 시도 성공률을 78%, 평균 시도 횟수 1.2회로 보고 하였고, 2007년 Frascione 등¹⁵⁾은 병원전단계 응급구조사에 의해 시행된 골내 주사 삽입 성공률이 87%, 특히 초회 성공률이 85%로 성인임에도 불구하고 본 연구보다 우수한 결과를 보고하였다. 2008년 Horton 등¹⁶⁾은 EZ-IO를 사용하여 응급실에서 소아 환자

에게 시행한 골내 주사 경험을 총 93.7%의 성공률과 초회 시도 성공률이 75.8%라고 보고하였다. 외국의 최근 골내 주사에 대한 임상 경험보다 본 연구에서 특히 초회 성공률이 낮은 이유는 실제 임상인들의 골내 주사 사용 경험이 적기 때문일 것으로 생각된다.

추가적으로 총 삽입 시도 횟수에 따라 시행자별로 성공률을 비교해보면 응급의학과 전공의가 61%로 가장 높게 나왔으며 응급의학과 전문의가 54%, 소아청소년과 전공의가 각 50%으로 측정되었으나 통계적으로 의미는 없었다. 응급의학과 전공의에서 전문의보다 성공률이 높게 발생한 이유는 술기 자체가 본원에 도입된 기간이 짧고 시행하는데 어렵지 않아 전문의와 전공의 간 술기 숙련도의 차이가 크지 않았기 때문으로 생각된다. 본원에서 PALS 교육 시 닭다리 모형이나 마네킨 모델을 가지고 골내 주사 실습을 하고 있지만 2010년부터 EZ-IO를 임상에 적극적으로 사용하기 시작한 것을 고려하면 연구 기간 동안 시행된 골내 주사가 시행자의 첫 번째 임상 시도였을 가능성이 많아 초회 성공률이 특히 낮았을 수 있다. 향후 골내 주사의 초회 성공률을 높이기 위해 실제 임상 상황과 유사한 환자 및 환경을 고려하여 골내 주사 교육을 고려할 필요가 있을 것이다.

골내 주사 삽입 위치로는 우측 경골 근위부가 가장 많았으며 기록 상 삽입 위치를 모르는 경우를 포함하면 더 늘어날 수도 있을 것이다. 대부분의 골내 주사 시행자가 오른손잡이임을 고려하면 우측 경골을 선호하고 가장 우선적으로 시도하게 되는 부위였을 것으로 생각된다.

삽입을 결정한 이유로는 심폐소생술 상황이 25명으로 전체의 83.3%를 차지하였으며 이 중 11명(44%)에서 정맥 확보를 기다리지 않고 즉시 골내 주사를 시도하였다. 2010년 PALS에서는 소아 심정지 상황에서는 즉각적으로 골내 주사를 시행하도록 권하고 있으나, 실제로는 44%에서만 지침에 따라 정맥 주사의 시도 없이 골내 주사가 시도되었다⁵⁾. 25명의 심정지 환자 중 골내 주사가 성공한 22명 중 31.8%가 자발 순환이 회복된 반면 골내 주사가 실패한 3명은 모두 사망하였는데 다른 원인도 있겠지만 골내 주사가 자발 순환에 중요한 요인으로 기여했을 가능성도 있다. 특히 심정지 외의 상황에서 시행한 골내 주사는 5명의 환자를 성공적으로 소생시키는데 기여하였다. 골내 주사의 유용성을 고려하여 교육시에 전달하는 PALS 지침이 실제 임상 상황에도 잘 적용되도록 유의해야 할 것으로 생각된다.

심정지가 아닌 상황에서 시행된 5명에게 통증 사정이나 술기를 위한 진정은 시행되지 않았다. 5명 중 3명은 간질 지속증 상태로 의식이 없고 말초혈관이 확보되지 않아 불가능한 상태였으며 다른 2명은 중증 탈수나 쇼크로 의식이 저하된 상태여서 통증에 대한 정확한 평가가 불가능하였으며 말초정맥 확보에 실패한 상태로 생체 징후가 매우 불안정하여 술기를 위한 진정이 시행되지 않았다. Ricardo

등¹⁷⁾은 의식이 있는 환자들에게 골내 주사 삽입시 통증이 발생할 수 있으니 국소 마취제를 투여하거나 골내 주사로 리도카인을 수액과 함께 지속 주입하면 통증을 줄일 수 있다 하였다. 그러나 통증 자극에 반응이 없는 환자는 이 단계가 필요하지 않다고 하였다.

골내 주사로 인한 합병증은 급성기 합병증과 만성기 합병증으로 나눌 수 있다. 급성기 합병증은 골절, 골수염, 혈관의 유출, 지방 색전증, 구획 증후군, 고삼투압 수액 주입 후 발생한 근 괴사 등이 외국 문헌에서 보고 되었다¹⁸⁻²²⁾. 12명의 생존자들의 재원 기간의 중위수는 25일로 급성기 합병증을 볼 수 있던 시기였으나 의무 기록을 통해 살펴본 결과 삽입 부위에 특별한 합병증은 없었다. 만성기 합병증은 성장판 이상 등이 외국 문헌에서 보고되고 있으나 본 연구에서는 알 수 없었다²³⁾.

본 연구는 몇 가지 제한점을 가지고 있다. 우선, 의무 기록 검토를 통한 후향적 연구로 응급실 내원 후 골내 주사가 시행되기까지의 시간이나 골내 주사 삽입까지의 시간, 혈액 검사 유무 등을 살펴볼 수 없었다. 또한 후향적 연구의 특성 상 환자의 추적 관찰에 한계가 있어 골내 주사 후 발생하는 모든 급성 및 만성 합병증을 알 수가 없었다. 두 번째, 포함된 환자의 수가 작아 연령에 따른 골내 주사 성공률이나 삽입 횟수 등을 비교해보기 어려웠다. 실패한 3명의 환자가 모두 4개월 이하였지만 실제 연령에 따른 차이가 있는지를 알아보기엔 부족하였다. 추후 전향적인 다기관 자료 수집을 통해 많은 소아 중환자에게 골내 주사의 임상 경험을 연구해볼 필요가 있으리라 생각된다.

결 론

응급실에서 소아 환자에서 골내 주사를 시행하는 것은 심정지 상황뿐만 아니라 혈관 확보가 어려운 중환자에게 있어 매우 유용한 술기임을 알 수 있었다. 추후 지속적인 교육과 홍보를 통해 골내 주사의 시행률과 성공률을 높이고자 노력해야 할 것으로 생각된다.

참고문헌

1. Lee JW, Seo JS, Kim DK, Lee JS, Kim S, Ryu JM, et al. Intraosseous line insertion education effectiveness for pediatric and emergency medicine residents. *Korean J Pediatr.* 2008;51:1058-64.
2. Lee JS, Ahn KC, Heo IY, Cho YS, Choi SC, Lee MJ, et al. Comparison analysis of performance among the types of intraosseous needle in animal bone models. *J Korean Soc Emerg Med.* 2009;20:515-21.
3. Drinker CK, Drinker KR, Lund CC. The circulation in the

- mammalian bone-marrow. *Am J Physiol.* 1922;1-92.
4. Thompson BM, Rice T, Jaffe J, Aprahamian C, Horwitz L, Torphy D. "PALS for life!" a required trauma-oriented pediatric advanced life support course for pediatric and emergency medicine housestaff. *Ann Emerg Med.* 1984; 13:1044-7.
5. Kleinman ME, de Caen AR, Chameides L, Atkins DL, Berg RA, Berg MD, et al. Part 10: Pediatric Basic and Advanced Life Support 2010 International Consensus on Cardiopulmonary Resuscitation and Emergency Cardiovascular Care Science With Treatment Recommendations. *Circulation.* 2010;81 Suppl 1:e213-59.
6. Brierley J, Carcillo JA, Choong K, Cornell T, DeCaen A, Deymann A, et al. Clinical practice parameters for hemodynamic support of pediatric and neonatal septic shock: 2007 update from the American College of Critical Care Medicine. *Crit Care Med.* 2009;37:666-88.
7. Committee on Trauma, American College of Surgeons. ATLS: advanced trauma life support program for doctors. 8th ed. Chicago: American College of Surgeons. 2008; 225-246.
8. Choi SC, Park HS, Kim JW. Current status of intraosseous infusion technique use at emergency department in Korea. *J Korean Soc Traumatol.* 2007;20:6-11.
9. You YH, Cho YC, Lee JW, Yoo IS. The safety of bolus infusion through intraosseous access using the EZ-IO in terms of extraosseous flow. *J Korean Soc Emerg Med.* 2012;23:632-6.
10. Kim DK, Kwak YH, Lee SJ, Jung JY, Song BK, Lee JH. A national survey of current practice patterns and preparedness of pediatric emergency care in Korea. *J Korean Soc Emerg Med.* 2012;23:126-31.
11. Ahn KO, Jung JH, Kim DK, Shin SD. Evaluation of the effect of the education on prehospital drill type intraosseous access of Level 1 emergency medical technicians. *J Korean Soc Emerg Med.* 2008;19:611-6.
12. Glaeser PW, Hellmich TR, Szewczuga D, Losek JD, Smith DS. Five-year experience in prehospital intraosseous infusions in children and adults. *Ann Emerg Med.* 1993; 22:1119-24.
13. Nijssen-Jordan C. Emergency department utilization and success rates for intraosseous infusion in pediatric resuscitations. *CJEM.* 2000;2:10-4.
14. Fiorito BA, Mirza F, Doran TM, Oberle AN, Cruz ECV, Wendtland CL, Abd-Allah SA. Intraosseous access in the setting of pediatric critical care transport. *Pediatr Crit Care Med.* 2005;6:50-3.
15. Frascione RJ, Jensen JP, Kaye K, Salzman JG. Consecutive field trials using two different intraosseous devices. *Prehosp Emerg Care.* 2007;11:164-71.
16. Horton MA, Beamer C. Powered intraosseous insertion

- provides safe and effective vascular access for pediatric emergency patients. *Pediat Emerg care.* 2008;24:347-50.
17. SÁ, Ricardo Américo Ribeiro, C. L., Dantas, R. B., & Delfim, L. V. V. Vascular access through the intraosseous route in pediatric emergencies. *Revista brasileira de terapia intensiva.* 2012;24:407-14.
 18. Stoll E, Golej J, Burda G, Hermon M, Boigner H, Trittenwein G. Osteomyelitis at the injection site of adrenalin through an intraosseous needle in a 3-month-old infant. *Resuscitation.* 2002;53:315-8.
 19. LaSpada J, Kissoon N, Melker R, Murphy S, Miller G, Peterson R. Extravasation rates and complications of intraosseous needles during gravity and pressure infusion. *Crit Care Med.* 1995;23:2023-8.
 20. Hasan MY, Kissoon N, Khan TM, Saldajeno V, Goldstein J, Murphy S. P. Intraosseous infusion and pulmonary fat embolism. *Pediat Crit Care Med.* 2001;2:133-8.
 21. Moen TC, Sarwark JF. Compartment syndrome following intraosseous infusion. *Orthopedics.* 2008;31:815.
 22. Alam HB, Punzalan CM, Koustova E, Bowyer MW, Rhee P. Hypertonic saline: intraosseous infusion causes myonecrosis in a dehydrated swine model of uncontrolled hemorrhagic shock. *J Trauma Inj Infect Critl Care.* 2002; 2:18-25.
 23. Brickman KR, Rega P, Koltz M, Guinness M. Analysis of growth plate abnormalities following intraosseous infusion through the proximal tibial epiphysis in pigs. *Ann Emerg Med.* 1988;17:121-3.