



# 소아환자에서 초음파 유도 중심정맥카테터 삽입

장익완 · 박중완<sup>1</sup> · 정재윤<sup>1</sup>

강원대학교 의학과대학원, <sup>1</sup>서울대학교병원 응급의학교실

## Ultrasound-guided central venous catheter insertion in pediatric patients

Ikwan Chang, Joong Wan Park<sup>1</sup>, Jae Yun Jung<sup>1</sup>

*Kangwon National University Graduate School of Medicine, Chuncheon;  
<sup>1</sup>Department of Emergency Medicine, Seoul National University Hospital, Seoul, Korea*

In pediatric patients, central venous catheterization (CVC) is necessary for administration of fluids, drugs, high concentration electrolytes, vasopressors or inotropic drugs, transfusion, intravenous nutrition, and dialysis. Using an anatomical landmark for the CVC insertion may have a low success rate in children due to the positional variation between the deep vein and the landmarks, the small size of body and blood vessels, low insertion frequency, and operator skill. In order to improve the success rate, ultrasound guided CVC insertion is recommended in critically ill children. It is also expected to reduce mechanical complications, which are more common with subclavian CVC insertion. However, the association between the insertion site and the infection or thrombosis is unclear. Since thrombosis is relatively common, further studies are needed on the association between the incidence rate and insertion sites.

**Key words:** Central Venous Catheters; Infections; Pediatrics; Thrombosis; Ultrasonography

### 서 론

소아환자(환자)에서 중심정맥카테터 삽입은 수액, 약, 고농도 전해질, 혈압상승제 또는 수축촉진약 투여, 수혈, 정맥영양, 투석 등에 필요하다. 그러나, 삽입 빈도가 성인보다 낮고, 작은 혈관 크기, 술기에 협조가 어려운 점 등 소아의 특성 때문에 시술이 어렵다<sup>1,2)</sup>. 소아환자에서 초음파 유도 중심정맥카테터 삽입은 1980년대에 보고된 이후,

그 유용성이 다양하게 연구됐다<sup>3)</sup>. 1990년대 초부터 초음파 유도 삽입이 기존 해부학적 기준점(anatomical landmark, 기준점) 이용 삽입의 단점을 보완하는 방법으로 권장되고 있다<sup>4-6)</sup>. 최근 연구에서 초음파 유도 삽입이 성공률은 높이고 시술 관련 합병증은 줄일 수 있다고 알려졌다<sup>1,7-10)</sup>.

본 저자는 소아환자에서 중심정맥카테터 삽입 시 기준점 및 초음파를 이용한 방법을 각각 살펴보고, 관련 연구를 통해 각 방법에 따른 성공률 및 주요 합병증 발생률을 알아보고자 한다.

Received: Dec 26, 2019      Revised: Jan 25, 2020  
Accepted: Feb 19, 2020

### Corresponding author

**Jae Yun Jung** (ORCID 0000-0003-2994-6900)  
Department of Emergency Medicine, Seoul National University Hospital, 101 Daehak-ro, Jongno-gu, Seoul 03080, Korea  
Tel: +82-2-2072-1629 Fax: +82-2-3672-8871  
E-mail: matewoos@gmail.com

### 본 론

#### 1. 기준점 이용 삽입

##### 1) 개요

이 술기는 동맥 맥박을 만지거나 특정 근육 가장자리를

기준으로 중심정맥과의 해부학적 연관을 추정함으로써, 혈관에 접근 및 삽입하는 전통적인 방법이다. 삽입을 위해 내경정맥, 쇄골하정맥, 대퇴정맥을 사용한다<sup>11,12</sup>. 각 혈관에 따른 장단점이 있어, 시술자의 경험 및 지식에 기반한 선호도에 따라 삽입 혈관을 결정한다<sup>13</sup>.

내경정맥을 통한 중심정맥카테터 삽입은 응급투석과 같이 단기간 사용 시 선호하며 기계적 합병증이 적다. 쇄골하정맥은 카테터를 오래 사용해야 하거나 감염 위험이 높으면 선호한다. 대퇴정맥은 기흉 또는 출혈 위험이 큰 환자에서 선호하며, 심장카테터 시술 등에 주로 이용한다<sup>11</sup>. 기존 연구에 따르면, 기준점 이용 삽입시 우측 대퇴 및 내경정맥이 주된 삽입 지점이었다<sup>14,15</sup>.

## 2) 제한점

기준점 이용 중심정맥카테터 삽입의 성공률은 59.6%~99.5%로 알려졌다<sup>5,14,16-18</sup>. 수술실에서 숙련된 소아마취과 의사가 시행하면 성공률이 높았으므로<sup>14,16</sup>, 시술자 숙련도를 성공 요인으로 추정할 수 있다. 상기 성공률의 넓은 범위는 중심정맥과 기준점 사이 위치의 변이, 몸 및 혈관의 작은 크기, 삽입 빈도가 낮아 시술자의 경험이 적은 것 등에 기인한다<sup>1,2,11</sup>. 심부 정맥은 위치가 다양하고, 특히 소아의 18% 및 영아의 24%가 각각 내경정맥 및 대퇴정맥의 위치 변이를 보인다고 보고된다<sup>4,19</sup>.

## 2. 초음파 유도 삽입

### 1) 개요

기준점 이용 삽입의 제한점을 보완하는데 초음파 유도 삽입이 유용하다고 알려져 있다<sup>20,21</sup>.

### 2) 방법

초음파 유도 삽입은 혈관 영상을 확보하고 혈관 확보용 바늘로 정맥천자 후 삽입하는 방법이다. 시술 중, 실시간 영상으로 혈관 및 바늘의 위치를 확인할 수 있다.

초음파 영상을 이용한 혈관 접근 시, 장축(long-axis view) 및 단축(short-axis view) 혈관 영상을 이용할 수 있다. 장축 영상을 이용한 방법은 중단면 영상을 확보한 뒤 천자하는 방법으로, 시술 시 바늘이 피부를 통해 혈관에 접근하는 전 주행 경로를 볼 수 있는 장점이 있다. 그러나, 주행 경로와 초음파 빔을 평행하게 유지해야 하므로, 시술자의 숙련도가 필요하다. 또한, 소아는 체구가 작아서 초음파 탐촉자(transducer)로 혈관의 장축 영상을 얻기 위한 충분한 공간 확보가 어렵다.

단축 영상 이용 시, 혈관의 횡단면 영상을 확보하여 주

변 구조물과 혈관을 구분한다. 탐촉자를 혈관에 수직으로 위치하고 바늘이 초음파 영상에서 혈관을 뚫는 것을 확인한다. 이 방법은 심부 정맥의 영상 확보 및 혈관 주변의 동맥을 포함한 주요 구조물과의 구별이 쉽고, 체구가 작은 환자에서도 이용할 수 있다. 그러나, 바늘이 횡단면 영상을 지날 때만 보이므로, 바늘이 혈관을 뚫고 지나가거나 바늘을 시각적으로 추적하지 못할 수 있고 이로 인해 주변 구조물이 손상될 수 있다. 바늘이 혈관에 접근하는 동안 탐촉자를 바늘 진행속도에 맞춰 움직이며 혈관 삽입 과정을 보여줌으로써("following the tip" 방법)<sup>1,22</sup>, 이를 보완할 수 있다.

### 3) 성공률 비교

기준점 이용 삽입의 제한점을 보완하기 위해 초음파 유도 삽입 방법이 소개된 이후, 두 방법의 성공률 및 합병증 발생률을 비교하는 연구가 있었다. 18세 미만 전신마취 환자 대상 연구에서 일차 시도 성공률이 초음파 유도 삽입군에서 더 높았고(65% vs. 45%,  $P = 0.021$ ), 삼차 시도 이내 성공률 또한 유사한 경향을 보였다(95% vs. 74%,  $P = 0.0001$ )<sup>23</sup>. 한 무작위비교연구에 따르면, 초음파 유도 내경정맥 삽입 시 시도 횟수 중앙값이 기준점 이용 삽입 시보다 더 적었으며(1 [사분위수 범위, 1-2] vs. 3 [2-5],  $P < 0.001$ ), 기계적 합병증 발생률 또한 낮았다(4.3% vs. 39.3%,  $P < 0.009$ )<sup>24</sup>. 14세 미만 중환자실 환자 대상 무작위비교연구에서도 같은 술기의 성공률이 더 높았으며(95% vs. 61%,  $P < 0.001$ ), 기계적 합병증 발생은 적었다<sup>25</sup>. 신생아 대상 연구에서도 초음파 유도 삽입의 성공률이 94%였으며, 신생아에서도 중심정맥관 삽입을 안전하게 시행할 수 있었다고 저자들은 보고 하였다<sup>26</sup>. 응급실에서 시행된 위와 유사한 연구에서도 초음파 이용 시 성공률이 더 높았다(98% vs. 79%)<sup>7</sup>. 기존의 메타분석 연구에 따르면, 초음파 사용이 시술의 성공률을 높이고, 시도 횟수 및 동맥 천자 위험을 줄일 수 있었다<sup>20,21</sup>. 그러나 초음파 사용이 시술 실패, 동맥천자, 혈종, 기흉, 혈흉 발생의 위험을 줄이지 못했다는 연구 결과도 있기는 하다<sup>27</sup>. 위의 다양한 연구 결과를 종합해 보았을 때 일부 논란에도 불구하고, 초음파 사용이 시술 성공률 향상 및 기계적 합병증 감소에 이점을 가지고 있다고 유추해 볼 수 있다.

### 4) 제한점

소아에서 초음파 유도 삽입의 장점이 잘 알려졌고 관련 학회에서 이를 권고하지만, 실제 사용 빈도는 낮은 실정이다<sup>28,29</sup>. De Souza 등<sup>21</sup>은 정규 초음파 교육의 부족을 원활한 초음파 사용의 저해 요인으로 지적하고, 이는 저개발국

가에서 더 심할 수 있다고 주장했다. 또한, 다른 연구들에서도 초음파 유도 삽입이 기준점 이용 시보다 성공률이 높지 못하였으며, 그 원인으로 초음파 이용 경험 부족을 그 원인으로 제시하였었다<sup>5,16)</sup>.

실제 환자 대상으로 초음파 유도 삽입을 연습하는 것은 윤리적으로 불가능하다. 이를 극복하기 위해 젤라틴, 돼지고기, 닭가슴살 등을 이용한 실습 모형을 만들어, 실제와 비슷한 환경에서 술기 교육을 시행한 여러 연구들이 있다<sup>30-34)</sup>. 미국의 경우 소아응급의학 전임의 교육 과정에 임상 초음파 교육이 포함되어 있다<sup>35)</sup>. Omid 등<sup>36)</sup>에 따르면, 외과의사의 소아 초음파 유도 삽입 술기 교육 과정을 처음 배우는 단계, 감독 하 시행 단계, 단독 시행 단계로 나뉘었을 때, 단계별 소요 시간 및 합병증 발생에 거의 차이가 없고 술기 습득이 비교적 쉬웠다<sup>36)</sup>. 따라서, 정규 초음파 및 모형 이용 교육을 시행하고 초음파 유도 삽입을 지속적으로 권장하는 것을 통해, 소아 중환자를 대하는 의사들이 초음파 유도 삽입을 쉽게 습득할 수 있도록 도와야 한다.

### 3. 합병증

#### 1) 기계적 합병증

동맥 천자 및 동맥 내 삽입, 카테터 위치이상, 기흉 및 긴장기흉, 혈흉, 혈종, 심장눌림증, 부정맥, 흉관손상 등이 발생할 수 있으며, 대퇴정맥에서 가장 적게 발생하는 것으로 알려졌다<sup>12)</sup>. Karapina와 Cura<sup>37)</sup>는 중심정맥카테터 삽입 시 동맥 천자 및 기흉 발생 빈도는 각각 쇄골하정맥(14.3%), 경정맥(7.1%), 대퇴정맥(6%) 순, 쇄골하정맥(2.5%), 경정맥(0%), 대퇴정맥(0%) 순이었다고 보고했다. Rey 등<sup>15)</sup>에 따르면, 기계적 합병증 발생률은 9.9%-23.6%로 다양했고, 삽입 부위 별 발생률은 쇄골하정맥(31.9%), 경정맥(18.8%)과 대퇴정맥(12.5%) 순이었다.

#### 2) 감염

중심정맥카테터 삽입은 이물에 의한 감염을 유발할 수 있다. 중심정맥카테터 연관 혈류감염(central line-associated bloodstream infection)의 위험인자는 장기간 정맥영양, 2-3세 미만, 8 kg 미만, 복수의 내강을 가진 카테터 사용, 조혈모세포 이식 등이다<sup>12)</sup>. Venturini 등<sup>38)</sup>은 상기 혈류감염이 기저 질환과 연관됐다고 보고했다. 또한, Rosado 등<sup>39)</sup>은 시술 전 소독 및 카테터를 7일 이내에 제거하는 것이 중요한 감염예방법이라고 주장했다. 대퇴정맥 삽입은 서혜부 세균 증식으로 인해, 혈류감염 가능성을 높이는 것으로 알려졌다<sup>39)</sup>. 성인 연구에서는 대퇴정맥 삽입이 쇄골하정맥 삽입보다 감염 발생률이 높

았다<sup>40,41)</sup>. 반면, 소아에서는 대퇴정맥과 감염의 유의한 연관성을 보이지 않았고<sup>42,43)</sup>, Sheridan과 Weber<sup>44)</sup>는 대퇴정맥 삽입 시 감염이 더 적게 발생했다고 보고했다. 이는 소아에서 서혜부보다 목과 상체에 주름이 많고 손이 잘 닿는 것에 기인한 것으로 추정한다<sup>12)</sup>.

#### 3) 정맥혈전증

중심정맥카테터 연관 혈전증 발생이 흔한 것으로 알려졌다<sup>45)</sup>. 내경정맥 삽입은 쇄골하정맥 및 대퇴정맥보다 혈전증 발생이 적은 것으로 알려졌으나, 나타나는 증상이 비특이적이어서 발생률이 과소평가됐을 수 있다<sup>12)</sup>. Gray 등<sup>46)</sup>은 영아에서 중심정맥카테터 삽입과 심부 정맥혈전증의 연관이 대퇴정맥 삽입, 복수의 내강을 가진 카테터 사용, 장기간 카테터 유지 등에 기인한다고 주장했다. 그러나, Chen 등<sup>47)</sup>은 삽입 부위와 혈전증 발생의 유의한 연관성은 없다고 주장했다. 현재까지 연구에 따르면, 삽입 부위와 혈전증 발생의 연관은 뚜렷하지 않다.

#### 4) 삽입 방법에 따른 합병증 발생률 비교

Criss 등<sup>9)</sup>은 초음파 유도 내경정맥 삽입 시 기흉 및 혈흉이 발생하지 않았다고 보고했다. 한 메타분석에 따르면, 초음파 유도 삽입 시 동맥 천자 위험을 줄일 수 있었다<sup>20,21)</sup>. 이러한 결과는 초음파 유도 삽입이 기계적 합병증을 줄이는데 유용하다는 것을 뒷받침하나, 한 다기관 연구에서는 기준점 이용 삽입에 비해 기흉을 유의하게 줄이지 못했을 뿐 아니라, 혈종은 더 흔했다고 그 결과를 보고하였다<sup>48)</sup>. 소아 대상 연구는 수가 부족하며 나이에 따른 해부생리학적 차이가 크므로, 연구 결과 해석에 주의가 필요하다<sup>27)</sup>.

## 결 론

기준점 이용 중심정맥카테터 삽입은 심부 정맥과 기준점 사이 위치 변이, 몸 및 혈관의 작은 크기, 낮은 삽입 빈도 및 시술자 숙련도 등으로 인해 성공률이 낮아질 수 있다. 이를 개선하기 위해, 초음파 유도 삽입을 권장하고, 이를 통해 기계적 합병증을 줄일 수 있을 것으로 기대한다. 기계적 합병증은 쇄골하정맥 삽입 시 더 흔하지만, 감염 및 혈전증과 삽입 부위의 연관은 불확실하다. 시술 전 소독 및 빠른 중심정맥카테터 제거를 통해 혈액 감염을 줄일 수 있다. 혈전증은 비교적 흔하게 발생하므로, 삽입 부위에 따른 발생률 차이에 관한 추가적인 연구가 필요하다.

## ORCID

Ikwan Chang, <https://orcid.org/0000-0002-2687-7041>  
 Joong Wan Park, <https://orcid.org/0000-0002-9702-170X>  
 Jae Yun Jung, <https://orcid.org/0000-0003-2994-6900>

## 이해관계

본 저자는 이 논문과 관련된 이해관계가 없음.

## 재정지원

본 저자는 이 논문과 관련된 재정지원을 받지 않았음.

## References

- Schindler E, Schears GJ, Hall SR, Yamamoto T. Ultrasound for vascular access in pediatric patients. *Paediatr Anaesth* 2012;22:1002-7.
- Denys BG, Uretsky BF, Reddy PS. Ultrasound-assisted cannulation of the internal jugular vein. A prospective comparison to the external landmark-guided technique. *Circulation* 1993;87:1557-62.
- National Institute for Clinical Excellence. Guidance on the use of ultrasound locating devices for placing central venous catheters: technical appraisal guidance [Internet]. London (UK): NICE; c2020 [cited 2020 Mar 20]. Available from: <https://www.nice.org.uk/guidance/ta49>.
- Alderson PJ, Burrows FA, Stemp LI, Holtby HM. Use of ultrasound to evaluate internal jugular vein anatomy and to facilitate central venous cannulation in paediatric patients. *Br J Anaesth* 1993;70:145-8.
- Grebenik CR, Boyce A, Sinclair ME, Evans RD, Mason DG, Martin B. NICE guidelines for central venous catheterization in children. Is the evidence base sufficient? *Br J Anaesth* 2004;92:827-30.
- Miller AH, Roth BA, Mills TJ, Woody JR, Longmoor CE, Foster B. Ultrasound guidance versus the landmark technique for the placement of central venous catheters in the emergency department. *Acad Emerg Med* 2002;9:800-5.
- Gallagher RA, Levy J, Vieira RL, Monuteaux MC, Stack AM. Ultrasound assistance for central venous catheter placement in a pediatric emergency department improves placement success rates. *Acad Emerg Med* 2014;21:981-6.
- Yang EJ, Ha HS, Kong YH, Kim SJ. Ultrasound-guided internal jugular vein catheterization in critically ill pediatric patients. *Korean J Pediatr* 2015;58:136-41.
- Criss CN, Gadepalli SK, Matusko N, Jarboe MD. Ultrasound guidance improves safety and efficiency of central line placements. *J Pediatr Surg* 2019;54:1675-9.
- Chuan WX, Wei W, Yu L. A randomized-controlled study of ultrasound prelocation vs anatomical landmark-guided cannulation of the internal jugular vein in infants and children. *Paediatr Anaesth* 2005;15:733-8.
- Hoffman T, Du Plessis M, Prekupec MP, Gielecki J, Zurada A, Tubbs RS, et al. Ultrasound-guided central venous catheterization: a review of the relevant anatomy, technique, complications, and anatomical variations. *Clin Anat* 2017;30:237-50.
- Duesing LA, Fawley JA, Wagner AJ. Central venous access in the pediatric population with emphasis on complications and prevention strategies. *Nutr Clin Pract* 2016;31:490-501.
- Jamshidi R. Central venous catheters: indications, techniques, and complications. *Semin Pediatr Surg* 2019;28:26-32.
- Malbezin S, Gauss T, Smith I, Bruneau B, Mangalsuren N, Diallo T, et al. A review of 5434 percutaneous pediatric central venous catheters inserted by anesthesiologists. *Paediatr Anaesth* 2013;23:974-9.
- Rey C, Alvarez F, De La Rua V, Medina A, Concha A, Diaz JJ, et al. Mechanical complications during central venous cannulations in pediatric patients. *Intensive Care Med* 2009;35:1438-43.
- Camkiran Firat A, Zeyneloglu P, Ozkan M, Pirat A. A randomized controlled comparison of the internal jugular vein and the subclavian vein as access sites for central venous catheterization in pediatric cardiac surgery. *Pediatr Crit Care Med* 2016;17:e413-9.
- Prince SR, Sullivan RL, Hackel A. Percutaneous catheterization of the internal jugular vein in infants and children. *Anesthesiology* 1976;44:170-4.
- Hayashi Y, Uchida O, Takaki O, Ohnishi Y, Nakajima T, Kataoka H, et al. Internal jugular vein catheterization in infants undergoing cardiovascular surgery: an analysis of the factors influencing successful catheterization. *Anesth Analg* 1992;74:688-93.
- Souza Neto EP, Grousseau S, Duflo F, Tahon F, Mottolise C, Dailler F. Ultrasonographic anatomic variations of the major veins in paediatric patients. *Br J Anaesth* 2014;112:

- 879-84.
20. Lau CS, Chamberlain RS. Ultrasound-guided central venous catheter placement increases success rates in pediatric patients: a meta-analysis. *Pediatr Res* 2016;80:178-84.
  21. de Souza TH, Brandao MB, Nadal JAH, Nogueira RJN. Ultrasound guidance for pediatric central venous catheterization: a meta-analysis. *Pediatrics* 2018;142:e20181719.
  22. Doniger SJ. Pediatric emergency and critical care ultrasound. Cambridge: Cambridge University Press; 2013. p. 233-78.
  23. Bruzoni M, Slater BJ, Wall J, St Peter SD, Dutta S. A prospective randomized trial of ultrasound- vs landmark-guided central venous access in the pediatric population. *J Am Coll Surg* 2013;216:939-43.
  24. Zanolta GR, Baldisserotto M, Piva J. How useful is ultrasound guidance for internal jugular venous access in children? *J Pediatr Surg* 2018;53:789-93.
  25. de Souza TH, Brandao MB, Santos TM, Pereira RM, Nogueira RJN. Ultrasound guidance for internal jugular vein cannulation in PICU: a randomised controlled trial. *Arch Dis Child* 2018;103:952-6.
  26. Montes-Tapia F, Rodriguez-Tamez A, Cura-Esquivel I, Barreto-Arroyo I, Hernandez-Garduno A, Rodriguez-Balderrama I, et al. Efficacy and safety of ultrasound-guided internal jugular vein catheterization in low birth weight newborn. *J Pediatr Surg* 2016;51:1700-3.
  27. Wu SY, Ling Q, Cao LH, Wang J, Xu MX, Zeng WA. Real-time two-dimensional ultrasound guidance for central venous cannulation: a meta-analysis. *Anesthesiology* 2013;118:361-75.
  28. Dassinger MS, Renaud EJ, Goldin A, Huang EY, Russell RT, Streck CJ, et al. Use of real-time ultrasound during central venous catheter placement: results of an APSA survey. *J Pediatr Surg* 2015;50:1162-7.
  29. Bosman M, Kavanagh RJ. Two dimensional ultrasound guidance in central venous catheter placement; a postal survey of the practice and opinions of consultant pediatric anesthesiologists in the United Kingdom. *Paediatr Anaesth* 2006;16:530-7.
  30. Baddoo H, Djagbletey R, Owoo C. A simple tissue model for practicing ultrasound guided vascular cannulation. *Ghana Med J* 2014;48:47-9.
  31. Sanchez-de-Toledo J, Villaverde I. Advanced low-cost ultrasound-guided vascular access simulation: the chicken breast model. *Pediatr Emerg Care* 2017;33:e43-5.
  32. Rippey JC, Blanco P, Carr PJ. An affordable and easily constructed model for training in ultrasound-guided vascular access. *J Vasc Access* 2015;16:422-7.
  33. Ault MJ, Rosen BT, Ault B. The use of tissue models for vascular access training. Phase I of the procedural patient safety initiative. *J Gen Intern Med* 2006;21:514-7.
  34. Chang I, Kwak YH, Kim DK, Lee JH, Jung JY, Kwon H, et al. Educational effectiveness of an easily made new simulator model for ultrasound-guided vascular access and foreign body management procedures on pediatric patients. *Pediatr Emerg Care* 2019;35:407-11.
  35. Cohen JS, Teach SJ, Chapman JJ. Bedside ultrasound education in pediatric emergency medicine fellowship programs in the United States. *Pediatr Emerg Care* 2012;28:845-50.
  36. Omid M, Rafiei MH, Hosseinpour M, Memarzade M, Riahinejad M. Ultrasound-guided percutaneous central venous catheterization in infants: learning curve and related complications. *Adv Biomed Res* 2015;4:199.
  37. Karapinar B, Cura A. Complications of central venous catheterization in critically ill children. *Pediatr Int* 2007;49:593-9.
  38. Venturini E, Montagnani C, Benni A, Becciani S, Biermann KP, De Masi S, et al. Central-line associated bloodstream infections in a tertiary care children's university hospital: a prospective study. *BMC Infect Dis* 2016;16:725.
  39. Rosado V, Camargos PA, Clemente WT, Romanelli RM. Incidence of infectious complications associated with central venous catheters in pediatric population. *Am J Infect Control* 2013;41:e81-4.
  40. Polderman KH, Girbes AJ. Central venous catheter use. Part 1: mechanical complications. *Intensive Care Med* 2002;28:1-17.
  41. Parienti JJ, Mongardon N, Megarbane B, Mira JP, Kalfon P, Gros A, et al. Intravascular complications of central venous catheterization by insertion site. *N Engl J Med* 2015;373:1220-9.
  42. Garcia-Teresa MA, Casado-Flores J, Delgado Dominguez MA, Roqueta-Mas J, Cambra-Lasaosa F, Concha-Torre A, et al. Infectious complications of percutaneous central venous catheterization in pediatric patients: a Spanish multicenter study. *Intensive Care Med* 2007;33:466-76.
  43. Reyes JA, Habash ML, Taylor RP. Femoral central venous catheters are not associated with higher rates of infection in the pediatric critical care population. *Am J Infect Control* 2012;40:43-7.
  44. Sheridan RL, Weber JM. Mechanical and infectious complications of central venous cannulation in children: lessons learned from a 10-year experience placing more than 1000 catheters. *J Burn Care Res* 2006;27:713-8.
  45. Vidal E, Sharathkumar A, Glover J, Faustino EV. Central venous catheter-related thrombosis and thromboprophylaxis in children: a systematic review and meta-analysis. *J Thromb Haemost* 2014;12:1096-109.
  46. Gray BW, Gonzalez R, Warriar KS, Stephens LA, Drongowski RA, Pipe SW, et al. Characterization of central venous catheter-associated deep venous thrombosis in infants. *J Pediatr Surg* 2012;47:1159-66.

47. Chen K, Agarwal A, Tassone MC, Shahjahan N, Walton M, Chan A, et al. Risk factors for central venous catheter-related thrombosis in children: a retrospective analysis. *Blood Coagul Fibrinolysis* 2016;27:384-8.
48. Gurien LA, Blakely ML, Russell RT, Streck CJ, Vogel AM, Renaud EJ, et al. Real-time ultrasonography for placement of central venous catheters in children: a multi-institutional study. *Surgery* 2016;160:1605-11.