

## 特集

## カテーテル穿刺時のエコー

森野良蔵\*

## 要 旨

中心静脈穿刺は臨床上有用な手技であるが重大な合併症も多数報告されている。特に重症患者、小児では重篤な合併症が生じやすい。近年では従来の穿刺方法に代わりエコーガイド下による中心静脈穿刺が広がりつつある。中心静脈には当然解剖学的変異も存在するが、エコーを使用すれば血管の位置関係を把握しやすく穿刺の成功率も上昇し安全に穿刺が可能になる。最近ではエコーガイド下穿刺に使用可能な血管穿刺専用の小型エコーも市販されている。中心静脈穿刺に有用なプローベはセクタプローベである。エコーガイド下の穿刺方法には穿刺前に血管にマークを付けた後その部分を穿刺する方法と、清潔下でエコーを操作して血管を確認しながら穿刺する方法の2通りがある。今後エコーガイド下の中心静脈穿刺が広がり安全に穿刺が行われることが期待されている。

## はじめに

中心静脈カテーテル挿入は、血行動態のモニタリング、循環作動薬の持続投与、高カロリー輸液、人工透析、蘇生などの目的に使用され臨床的に非常に有用な手技である。そのため、あらゆる診療科、様々な場所で安易にカテーテル挿入が行われ、重大な合併症を生む温床となっている。また経験数の違いによる穿刺技術水準差も問題となる。特に重症患者、抗凝固療法中の患者、凝固因子異常を伴う血液疾患患者、体格上の穿刺困難患者などで重篤な合併症が起きやすい。中心静脈カテーテル挿入を安全に行うための手段の一つとしてエコーで血管の確認を行いながら穿刺する方法がある。

エコーを使用すれば、解剖学的変異の問題、穿刺の合併症の問題、術者の技術水準の問題を解決出来る可能性を持つため是非とも身につけたい技術であると考えている。本稿では特に内頸静脈穿刺について述べる。

## エコーによる中心静脈穿刺の理論的背景

## A. 中心静脈穿刺における合併症

従来の解剖学的目標(anatomical landmark)を使用した内頸静脈穿刺法による6,245症例の肺動脈カテーテル挿入報告によれば、頸動脈誤穿刺120例(1.9%)、気胸発生31例(0.5%)、頸動脈イントロデューサーシース挿入4例(0.06%)、などの穿刺時合併症が報告されている<sup>1)</sup>。

複数の論文データからの、穿刺部位ごとの合併症の発生率をまとめた報告によれば(表1)、動脈穿刺、気胸、血胸、血腫が主要な合併症であり、鎖骨下静脈穿刺と内頸静脈穿刺は同じ程度の合併症の発生率、鎖骨下静脈は内頸静脈穿刺に比べて血胸(0.4~0.6%)、気胸(1.5~3.1%)が生じやすく、内頸静脈穿刺は鎖骨下静脈穿刺に比べ動脈穿刺の頻度が高くなっている(6.3~9.4%)。大腿静脈穿刺においては血腫(3.8~4.4%)、動脈穿刺(9.0~15%)の頻度が高いとの記載がある<sup>2)</sup>。

## B. 中心静脈(内頸静脈)の解剖

従来の内頸静脈穿刺では anatomical landmark を確認して盲目的に穿刺する方法が一般的である。そのため色々なアプローチ方法における内頸静脈と動脈の位置関係を把握することは重要である。解剖学的に変異があったとしてもエコーを使用することで、変異の把握が容易になり、穿刺時に解剖学的変異は問題となることが少なくなる。しかしながら安全に穿刺する観点からは解剖の理解が必要である。

\*東京女子医科大学医学部麻酔科学教室

表1 各穿刺部位ごとの合併症の発生率(文献2より引用)

Complication	Frequency (%)		
	Internal Jugular	Subclavian	Femoral
Arterial puncture	6.3-9.4	3.1-4.9	9.0-15.0
Hematoma	<0.1-2.2	1.2-2.1	3.8-4.4
Hemothorax	NA	0.4-0.6	NA
Pneumothorax	<0.1-0.2	1.5-3.1	NA
Total	6.3-11.8	6.2-10.7	12.8-19.4

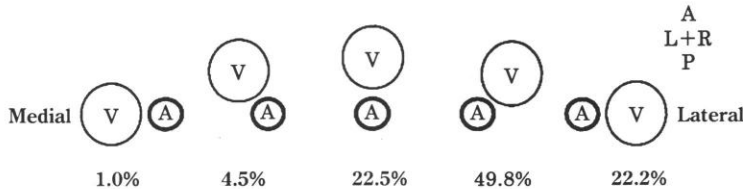


図1 右内頸静脈(V)と総頸動脈(A)の位置関係(文献3より引用)

内頸静脈穿刺時頭部を対側に向け、エコーによって血管の観察を行った。5.5%の症例で血管の位置異常が存在した。

表2 頭部の回転角度による内頸静脈、総頸動脈の重なり度合い(文献4より引用)

Side of neck	Overlap of vessels with different degrees of head rotation (%)		
	0°	40°	80°
Right	1.5±0.8 (0-17.4)	6.5±2.8 (0-48)	27.5±7.4*† (0-100)
Left	5.2±2.9 (0-54)	11.5±4.9 (0-76.5)	44.7±7.2*†‡ (0-100)

Values are means±SEM; range given in parentheses.

\* p<0.05 compared with 0° rotation to same side of the neck.

† p<0.05 compared with 40° rotation to same side of the neck.

‡ p<0.05 compared with 80° rotation to the right.

エコーによって血管の重なり度合いを観察し、その割合を

% overlap = {overlap(mm)/carotid artery diameter(mm)} × 100 によって表わしたものの。

677人の内頸静脈穿刺時、エコーで動静脈の位置関係を調べた結果によれば(図1)、内頸静脈が総頸動脈の外側に位置する正常解剖の割合は72%、前後に位置する割合は22.5%、動静脈の位置関係が逆転する場合が5.5%もあると報告されている。またエコー直視下にて19G留置針で静脈穿刺を行う際に、静脈の前壁のみを穿刺する静脈径の平均は1.63cm、静脈の前壁および後壁まで穿刺する静脈径の平均は1.37cmと径が小さくなれば対側(その下部に動脈があれば動脈壁)まで誤穿刺の率が高まることも併せて報告されている<sup>3)</sup>。

内頸静脈穿刺の際の頭部の回転角度を調べた文献では、穿刺部の対側への頭部の回転角が大きくなるほど内頸静脈と総頸動脈の重なり合いの度合

いが大きくなるため(表2, 図2)、頭部の回転角を40度以内に保つべきであると結論づけている<sup>4)</sup>。

### C. 小児における問題

一般的に小児は体格が小さいために中心静脈穿刺が困難である。成功率は成人に比して低くなり(70~79%対79~87%)、合併症の発生率は高くなる(動脈誤穿刺11~25%対6~9%)<sup>2,5~7)</sup>。

体格以外の原因として、血管位置関係異常の頻度の高さがある。先天性心疾患患者25人を対象に、輪状軟骨および胸鎖乳突筋分岐部においてエコーを使用し内頸静脈と総頸動脈の位置関係を調べた結果によれば(図3)、大人に比べて特に下部(胸鎖乳突筋)分岐部にて56%もの患者に内頸静脈が動脈の前面に位置することが確認された<sup>8)</sup>。

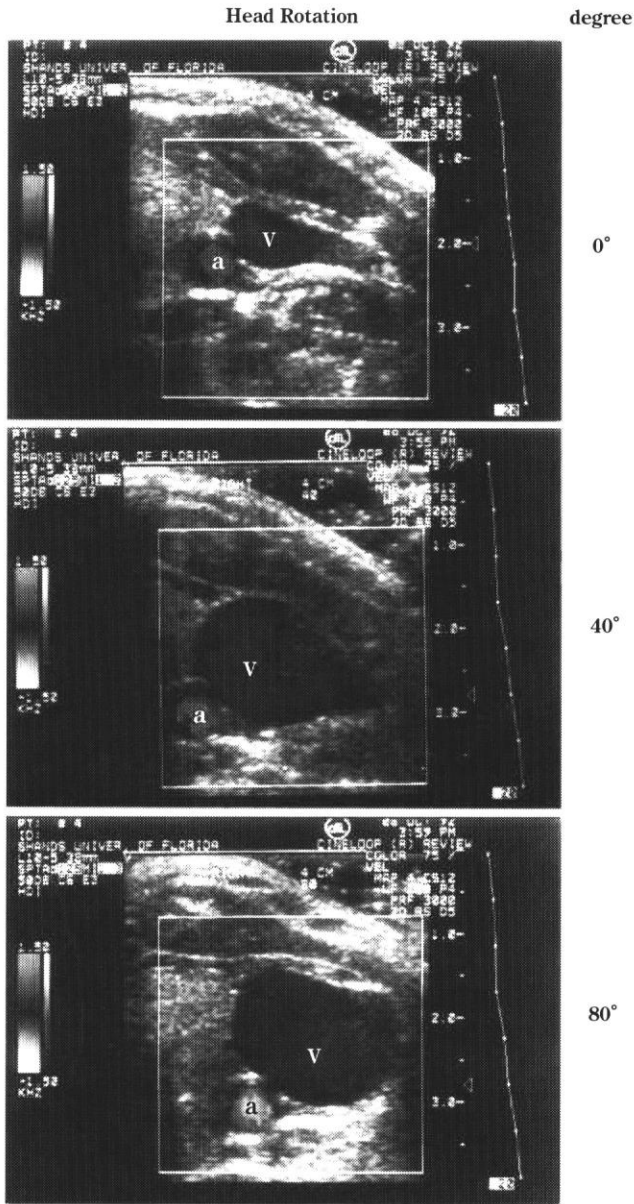


図2 エコーによって観察した右内頸静脈(V)と総頸動脈(a)の位置関係(文献4より引用)  
 頸部回転角度0°に比べて角度が大きくなるにつれて動静脈の重なり度合いが増すのが分かる。

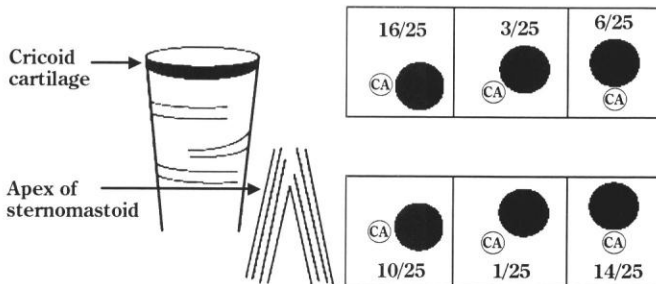


図3 小児における内頸静脈と総頸動脈(CA)の位置関係(文献8より引用)

表3 血管穿刺に使用可能なエコー装置の特徴

	重量 Kg	外寸 W×D	バッテリー 駆動	携帯性	プローベ 交換	プローベ	穿刺用 プローベサイズ	画像
据え置き型	重	大	×	×	○	各種有	セクタプローベ 8~5MHz 12mm 幅	◎
tyco Healthcare iLook 25	1.36	27.5×30	○ 20~30分	◎	×	穿刺専用のみ	リニアプローベ 10~5MHz 25mm 幅	◎
ALOKA TITAN	3.5	17×27.8	◎ 240分	◎	○	各種有	リニアプローベ 10~5MHz 38mm 幅	◎

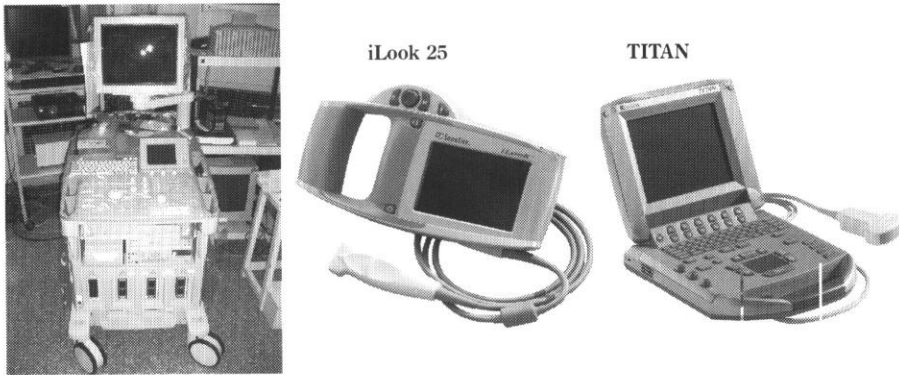


図4 血管穿刺に使用可能なエコー装置

#### D. エコーによる中心静脈穿刺の有効性

従来の anatomical landmark を使用した内頸静脈穿刺法に比べエコーを使用した中心静脈穿刺法の有効性について、穿刺の成功率と合併症の発生率の観点から meta analysis による議論が行われている。穿刺成功率の議論では成人においてはすべての穿刺部位（鎖骨下静脈，大腿静脈，内頸静脈），小児においては内頸静脈（他の部位の考察は行われていない）にてエコーガイド下の中心静脈穿刺で有意に不成功率が低いことが示されている (relative risk 0.14, 95% confidence interval 0.06 to 0.33)<sup>7)</sup>。

合併症発生率では，成人において内頸静脈，大腿静脈での穿刺時合併症の発生率はエコーガイド下の中心静脈穿刺の方が有意に発生率が低いことが示されている (relative risk 0.22, 95% confidence interval 0.1 to 0.45)<sup>9)</sup>。

#### エコーによる中心静脈穿刺の実際

##### A. 使用装置

中心静脈穿刺に使用可能なエコー装置は大別す

ると，据え置き型と携帯型の2種類に分類される。据え置き型は通常の心臓検査等に用いられる汎用装置で血管穿刺に適したプローベを各種交換して使用可能である。携帯型は各種プローベが選択可能なタイプと，プローベ固定の血管穿刺専用タイプに分類される(表3, 図4)。どの装置も画質に関しては問題ないがプローベの自由度に関しては据え置き型が優れている。携帯型はあらゆる場所で簡単に使用可能であり今後血管穿刺の現場での使用が増加していくと考えられている。

##### B. 血管の確認

エコーガイド下で中心静脈穿刺を行うためにまず必要なことは血管の確認である。基本は動静脈の区別にある。方法は圧迫法およびカラー Doppler 法，パワード Doppler 法である。後者2法は血管内の血流部分が Doppler 法によってカラー化される。血管の発見には有用であるが動静脈の判別を微妙な色の変化で行う必要がありやや不確実である。圧迫法は B-mode 画面で血管をプローベで直接圧迫して血管が虚脱する側を静脈，虚脱

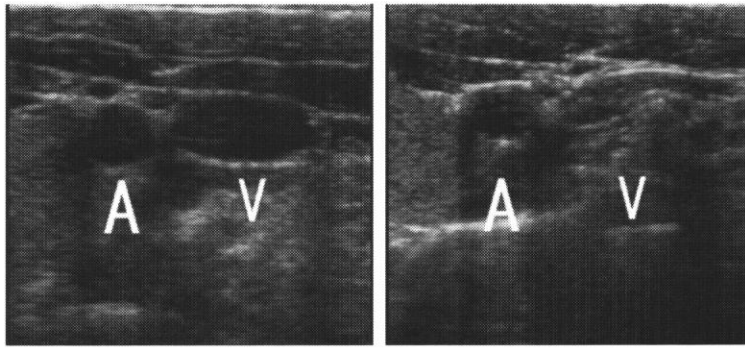


図5 圧迫法による動静脈の確認：圧迫前(左)/圧迫後(右)  
エコープローベの圧迫により動脈の内腔は保たれているが、静脈は虚脱している。

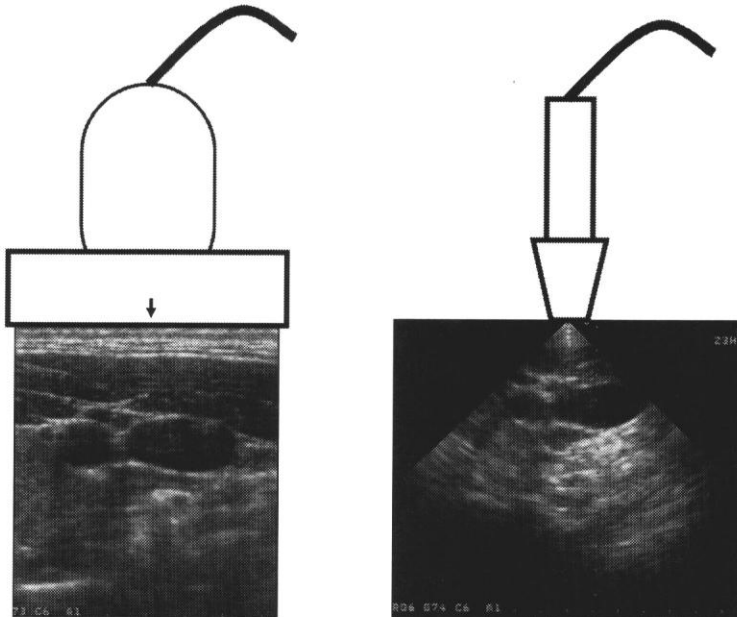


図6 リニアプローベ(左)とセクタプローベ(右)による血管の見え方  
セクタプローベはプローベの直下に静脈があるが、リニアプローベの場合はプローベのどの部分に静脈があるか正確に分からない。

しない側を動脈と鑑別する方法で(図5)、かなり鋭敏な検出方法である。

### C. プローベの特徴と問題点

利用できるエコープローベはリニアプローベとセクタプローベの2種類である。それぞれのプローベの特徴と問題点を解説する(図6)。

#### 1. リニアプローベ

このプローベの特徴はセクターに比べ画像がやや鮮明なことである。単に血管の存在を確認するには有用であるが、プローベのどの部分の真下に血管が位置するか把握しにくいのが難点である。唯一、画面の中心に血管が確認出来る場合のみプ

ローベの中心直下に血管が位置することになる。またプローベが大型であり、体格が小さい小児の頸部には頸のスペースの関係で使用できないことが多い。

#### 2. セクタプローベ

一般的に血管穿刺用プローベはリニアプローベが多いが、血管穿刺に最適なエコープローベはセクタプローベである。セクタプローベはプローベの形状が小型でエコービームがプローベの一点から照射される。画面に示された扇状画像の要の部分にプローベがあるため、画面上、要の真下に血管が位置するようにプローベを移動すれば、まさに

その直下に血管が存在するため、血管の位置確認が非常に容易かつ正確になる。プローベが小型になるほど血管をピンポイントで示すことが可能となり、体格の小さい小児も支障なく使用出来る。

#### D. 穿刺法

エコーを使って中心静脈穿刺をするには2通りの方法がある。血管の確認方法はすべての方法で共通である。前述の内頸静脈と総頸動脈の解剖学的問題はエコープローベを頸部の色々な位置、方向、高さに移動させることでほとんど解決可能である。出来る限り動脈誤穿刺を避けるため、動静脈の重なりがない部分の探索を行いかつ、静脈の後壁穿刺を避けるために出来る限り血管径の太い部分を探すことが重要である。もし右内頸静脈に適切な穿刺部位がないと判断した場合は躊躇無く左内頸静脈に穿刺部位を変更することも、エコーガイド下の中心静脈穿刺であれば非常に容易である。

##### 1. Mark 法(図7)

血管穿刺の前に圧迫法によりエコーで確認した静脈の直上に皮膚ペン等でマークを付ける。複数のマークを付ければ血管の走行も把握できる。次に皮膚の消毒を行いマークの部分に穿刺する方法である。この方法の注意点は、成人の場合は血管の横径がマークよりも十分に大きいため消毒時や穿刺時に微妙な頸の位置の移動、穿刺部位の微妙なずれが生じても穿刺可能であるが、小児の場合は血管が小径なためにわずかな穿刺のずれのため、

一回での穿刺が困難な場合があることである。さらに一番重要な点は、穿刺時エコービームの方向に穿刺針を進めなければならないことである。当然目標とする血管はエコービームと同じ方向にある。通常我々は anatomical landmark を使用して血管穿刺を行う時、動脈を避けるためにやや針の方向を外側に向けて進めるが、たとえ刺入点が正確であっても普段の癖が払拭できずに外側方向に穿刺を進めると決して目標とする血管に到達できない。エコーを使用するときは穿刺針の向きは頸部の内側かつ血管の走行にあわせてやや血管の中枢側に向け傾けながら穿刺するのがこつである。

##### 2. Real time 法(図8)

血管穿刺時エコーで血管の視認を行いつつ穿刺する方法である。皮膚消毒の前に血管の状態をエコーで簡単に確認を行う。次に皮膚の消毒を行い使用するエコープローベに市販の清潔エコー用プローブカバーを装着し血管の画像を見ながら直接穿刺を行う。穿刺の方法には血管の短軸像および長軸像を確認しながら穿刺する2種類の方法がある。さらに穿刺ガイドをプローベに装着して穿刺する方法もある。実際には穿刺ガイドを使用して穿刺するメリットは必ずしも感じられない。前述の Mark 法の欠点であったエコービームの方向に穿刺することをこの方法ではまったく意識する必要はないのでこの点が Real time 法の有利な点である。小児での穿刺に関しても小型のセクタプローベを使用して Real time 法で穿刺すれば、前述の

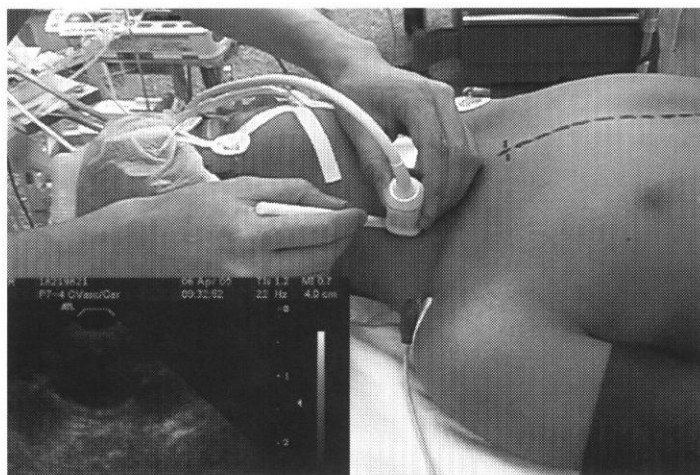


図7 Mark 法

エコープローベが内方に向いているのに注意。穿刺もこの方向に行わないといけない。



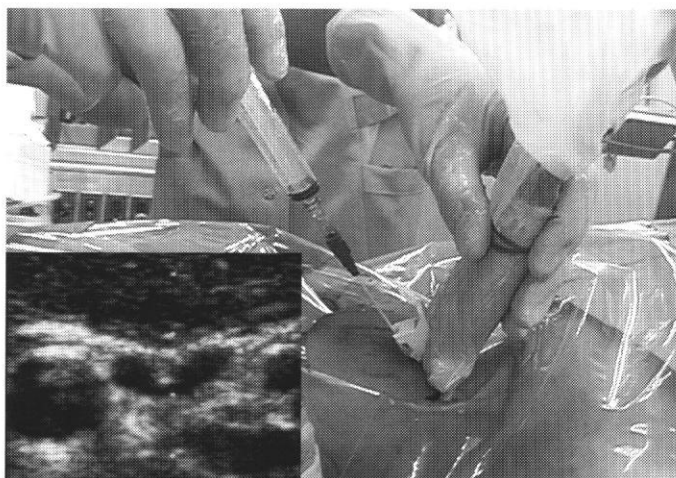


図8 Real time 法

この写真では穿刺ガイドを使用している。内頸静脈内に留置針が進入しているのがわかる。

Mark 法の欠点である、微妙な穿刺部位のずれの問題は解消できる。実際に小児でこの方法を実践しているが穿刺成功率は100%、合併症の発生率も皆無となっている(未発表)。欠点はコストの問題である。市販のプロベカカバーはコスト(数千円)が高いのが難点である。大人の穿刺はMark法で行い、体格の小さい小児でReal time法で行うのが現実的であると考えられる。

### 最後に

中心静脈カテーテル挿入は現在の医療においては必須の手技である。有効な治療のために行った手技により事故が生じることは我々にとっても、患者にとっても不幸なことである。エコーガイド下に穿刺を行うことを覚えると経験の浅い医師が従来の anatomical landmark を使用した中心静脈穿刺法を学べないために問題があるとの意見も上級医師から聞くこともある。しかし、病棟でも使用可能な安価な小型機材の開発を行い、エコーガイド下の中心静脈穿刺が広まれば anatomical landmark を使用した中心静脈穿刺を行う必要もなくなり、結果的に安全かつ確実な中心静脈穿刺法が広がっていくと信じている。

### 文 献

1) Shah KB, Rao TL, Laughlin S, et al: A review of pulmonary artery catheterization in 6,245 patients. *Anesthe-*

*siology* 1984 Sep; 61: 271-5.

- 2) McGee DC, Gould MK: Preventing complications of central venous catheterization. *N Engl J Med* 2003; 348: 1123-33.
- 3) Gordon AC, Saliken JC, Johns D, et al: US-guided puncture of the internal jugular vein: complications and anatomic considerations. *J Vasc Interv Radiol* 1998; 9: 333-8.
- 4) Sulek CA, Gravenstein N, Blackshear RH, et al: Head rotation during internal jugular vein cannulation and the risk of carotid artery puncture. *Anesth Analg* 1996; 82: 125-8.
- 5) Augoustides JG, Diaz D, Weiner J, et al: Current practice of internal jugular venous cannulation in a university anesthesia department: influence of operator experience on success of cannulation and arterial injury. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 2002; 16: 567-71.
- 6) Hayashi Y, Uchida O, Takaki O, 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.
- 7) Hind D, Calvert N, McWilliams R, et al: Ultrasonic locating devices for central venous cannulation: meta-analysis. *BMJ* 2003; 327: 361.
- 8) Mallinson C, Bennett J, Hodgson P, et al: Position of the internal jugular vein in children. A study of the anatomy using ultrasonography. *Paediatr Anaesth* 1999; 9: 111-4.
- 9) Randolph AG, Cook DJ, Gonzales CA, et al: Ultrasound guidance for placement of central venous catheters: a meta-analysis of the literature. *Crit Care Med* 1996; 24: 2053-8.