

## 第 21 章 エコーガイド下中心静脈カテーテル留置

### ポイント

中心静脈カテーテル (CVC) は、栄養や薬剤の投与、血液循環動態監視、心肺停止患者の蘇生などに利用される。CVC は様々なトレーニング歴や経験をもつ医師により留置され、CVC 挿入の失敗は 20%にも達するといわれる。リアルタイム超音波 (US) ガイド下 CVC 挿入はカテーテル挿入成功率を改善し、留置に成功するまでの静脈穿刺回数を減少させ、カテーテル挿入に関連した合併症 (動脈穿刺・血腫・気胸・血胸・乳び胸・腕神経叢損傷・不整脈、空気塞栓・カテーテル位置異常・カテーテル結節など) を減少させる。初心者や経験の乏しい医師や高リスク患者において、US ガイド法は最大の便益をもたらし得る。

### 背景

中心静脈カテーテル (central venous catheterization : 以下 CVC) の適応は、経静脈栄養、血管内脱水、血管作働性薬投与経路、血液循環動態監視、心肺停止、末梢血管確保困難、抗生剤などを長期的に静脈内投与するための経路、などである[1,2]。CVC は生命を救う一方で、重大なリスクにも関連する[3]。これらのリスクは、以下に挙げる患者の特徴に関連して増加する[3-5]。すなわち、患者の解剖学的特徴 (病的肥満、悪液質、手術あるいは放射線治療による皮膚瘢痕など)、患者が置かれている状況 (人工呼吸、心肺停止のような緊急時など)、合併症 (プラ性肺気腫、凝固障害など) である。

CVC を留置するのは、様々なトレーニング歴や経験をもつ医師であり、留置は集中治療室、救急部、手術室、周術期麻酔ケア室、透析室、心臓カテーテル室および他の入院部門において施行される。透析センターや外来化学療法を行う腫瘍センターなど、外来における CVC 留置も頻繁に行われるようになってきている。

経皮的 CVC は通常、解剖学的目印 (目的とする静脈との位置的關係がわかっている触覚的あるいは視覚的構造物) を頼って盲目的に挿入される。例えば、経鎖骨下アプローチで鎖骨下静脈を穿刺するには、基準となる鎖骨の部位、胸骨上突起、胸鎖乳突 - 鎖骨三角の目印の正確な位置、正しい患者の体位と術者の位置、静脈穿刺部位の正確な深さ・方向・刺入角度などが必要になる。同様に内頸静脈アプローチには、胸鎖乳突筋や頸動脈と関連した静脈の走行に関する完全な知識が必要である[1]。

ポータブル超音波 (US) 装置を使えば、カテーテル留置時にベッドサイドで静脈が描出できる。US ガイド下 CVC 留置の利点は、静脈の解剖学的偏位や正確な血管の位置を知ることができること、CVC 留置を妨げるような血栓が存在する中心静脈を避けることができること、最初の穿刺後にガイドワイヤーや留置カテーテルを誘導できること、などである。

この章では、リアルタイムの超音波ガイド法が、CVC 挿入時の安全性の改善に及ぼす影響をレビューする。

## 実践内容

CVC 挿入時のリアルタイム超音波ガイドは、針、ガイドワイヤー、あるいはカテーテルの挿入前あるいは挿入中に、目的とする静脈やその周辺の解剖学的構造を描出する。以前の研究によると、超音波で血管の位置を同定してからカテーテルを留置しても、目印法でも、ブラインド法に対する利点は明らかな利点はない[3]。他方リアルタイムの US ガイドは、CVC 留置の成功率を上げ、合併症を減少させるように見える。

リアルタイムの超音波ガイドには2つのタイプがある。ドプラ - 式超音波ガイド法には、聴覚ガイドドプラ - [6]、指尖拍動型ドプラ - [7]、プローベ針一体型技術[6,8-10]などがある。非ドップラー式超音波ガイド法（従って、US ガイド法と呼ばれる）としては、ガイド針付超音波と[11,12] ガイド針なし超音波[13-15]とがある。

## 対象となる安全性問題の頻度と重大性

米国における1年間のCVC挿入数は明らかではないが、鎖骨下カテーテルの数は数百万と推測されている[3]。中心静脈系に留置される種々のタイプのカテーテルや、益々増加する一般外科患者や重症患者（救急部と集中治療室の双方において）におけるCVCカテーテル利用、透析あるいは化学療法を受ける患者管理に用いるCVCを全て合わせれば、CVC留置総数は鎖骨下カテーテル留置の何倍にも昇る[3]。

CVC挿入の失敗は、20%にも達する[3-5]。CVC挿入を試みるときに起こる（成否にかかわらず）危険には、動脈穿刺、血腫、気胸、血胸、乳び胸、腕神経叢損傷、不整脈、空気塞栓、カテーテル位置異常、カテーテル結節がある[3-5]。CVC留置による他の合併症としては、感染、血栓症、動静脈瘻、血管びらん、心臓びらん[3-5]などがある。これらの合併症は、穿刺時には起こらないが、カテーテル留置後に起こる[3-5]。

CVC留置に関連した合併症の頻度は様々であり、静脈穿刺部位、術者の経験、上記の危険因子により大きく異なる。一般的に、大きなCVC合併症（気胸、修復が必要な血管裂傷など）および小さな合併症（動脈穿刺、大きな出血、一過性のカテーテル位置異常など）の発生率は、0.5%-10%[3-5]である。

合併症に加え、ケアの質に関する問題がCVC挿入に関連して起こる。例えば何回もCVC挿入を試みると患者の不安と不快感は相当なものに達する。さらに重要なことは、救急時に挿入に手間どると、救命のための輸液や薬剤投与が遅れることである。

## 実施による影響

CVC は大抵、目印法にて留置される。前述したように、一年間に留置されるカテーテルの数や US ガイドを使わずに留置される CVC の割合は不明である。また US を使った技術の恩恵を CVC 受ける患者（複数のリスクを持つ患者、集中治療室など高リスク環境下の患者、未熟な医師により留置される患者）の割合がどのくらいなのかも不明である。

中心静脈に挿入されるカテーテルは、多種多様である。シングルルーメン CVC・マルチルーメン CVC、トンネル式カテーテル・非トンネル式カテーテル、細くて柔軟性のあるデバイス（肺動脈カテーテル、診断用心臓カテーテル、一次的経静脈ペースメーカー）を通すための大きく硬いカテーテル・イントロデューサーなどがある。全ての中心静脈留置カテーテルには、最初の静脈への針の穿刺と、それに続くカテーテルを通すためのガイドワイヤーが必要である。

## 研究デザインと結果

一つのメタ分析と 10 の原著論文を分析した。10 の研究のうち 9 つはランダム化比較試験であり、一つは準ランダム化比較試験であった（表 21.1 参照）[11]。メタ分析[16] には、この章で触れた 6 つの論文が含まれる[6,8,10,12-14]。この章で触れた 4 つの論文は、1996 年のメタ分析では触れられていない。そのうち 3 つ[9,15,17]は 1996 年以降に発表されたものであり、一つ [17] は準ランダム化比較試験である。メタ分析に含まれた 2 つの研究は英語で書かれていないので、この章には含まれていない[7,18]。

この章で分析された研究は、週毎に介入を患者に割り当てた準ランダム化デザインの研究 [11] を一つ除いて、前向き非盲検化ランダム化試験である。全ての研究において、患者レベルで（医師レベルではなく）ランダム化が行われている。

10 のオリジナル研究のうち 5 つは、ドップラーを使わない超音波ガイド法であった。カテーテル挿入部位は、6 研究が内頸静脈、3 研究が鎖骨下静脈、一つが大腿静脈であった。研究対象は様々であり、集中治療室の患者、術前・術後の外科患者、カテーテル室あるいは冠状疾患集中治療室の心疾患患者、救急室の心肺停止の患者、腫瘍センターの外来患者である。

分析から除外された研究は、比較対照群がない研究 [19-27]、リアルタイムでないガイドを使った US [3, 28]、CVC 留置行為の完了よりもシミュレーションの研究である[29]。

レビューのために選択された論文は、臨床アウトカムを組み合わせ報告している。これらのアウトカムには、患者の病状悪化（気胸など）の原因となるレベル 1 合併症、重要な有害事象（後遺症を伴わない不必要な動脈穿刺）であるレベル 2 合併症等が含まれる。研究の大部分が、CVC 留置成功までの静脈穿刺回数とかかった時間を報告している。静脈穿

刺回数が増加すると合併症率も高くなるので、これらはレベル2アウトカムと考えられる。

### 実践の有効性のエビデンス

1996年のメタ分析[16]は、リアルタイムUSガイド下CVC挿入は、通常の日印法と比較して、有意にCVC留置の失敗を減少させる（相対危険度：0.32、95%CI：0.18-0.55）と評価した。さらにUSガイド法は、CVC留置施行中の合併症を相対危険度にして78%減少させた。（RR：0.22、95%信頼区間：0.10-0.45）[16]CVC挿入までの平均穿刺回数は、リアルタイムUSガイド下で有意に減少し（相対危険度：0.60、95%CI：0.45-0.79）相対危険度減少は40%であった。[16]

この章でレビューしたメタ分析に含まれなかった3研究（メタ解析以降に公表）のうち2研究（1998年）[9,17]で異なる結果が出たので、ここで触れておく。双方が、通常の日印法を使ったCVC留置に有意な経験を積んだ医師を研究に含めた。一方の研究では、日印法でもUSガイド法でも、全体的な失敗率が非常に低かった[17]。もう一方の研究では、USガイド法導入直後の学習期間に失敗率が高かったのと、CVC留置に伴う合併症率が全体的に低かったため（1.3%）統計学的に有意ではないがUSガイド法に否定的な結果となった[9]。

心肺蘇生時の大腿静脈カテーテル留置を除いて[15]、この章でレビューした研究ではリアルタイムUSガイド法を用いたときの挿入時間の減少を認めなかった。2つの報告[9,10]を除き、引用した研究は全て3つのアウトカム測定値（合併症、重要な有害事象、静脈穿刺回数）のうち少なくとも1つに統計学的有意差を認めた。リアルタイムUSガイド法によるもっとも良好なアウトカムは、経験の浅い医師を対象とした研究で認められた[6,12,13]。

### 潜在的な害

リアルタイムUSガイド法に伴う機器や操作の増加は、カテーテル関連感染症の発生率を増加させるかもしれない。しかし既存の研究は、これらの合併症を観察していない。緊急時には、USガイド下にCVC留置するのに要する時間（通常、30秒～数分）が許容できない遅延になるかもしれない。リアルタイムUSガイド法をCVC留置に用いるときに起こり得る害は、トレーニング法の変化やその結果起こる技術への依存である。この方法の支持者は、USガイド法により技能と解剖学的知識が増加する結果、従来のガイドを使わないCVCの留置のパフォーマンスも増加するはずだと述べている。USの補助下でしかCVC留置を行ったことのない者が、USを使用せずにCVCを留置した場合、合併症率が異なるかどうかは不明である。したがって質の確保のために、トレーニングを受ける者は、USガイド下および非USガイド下双方においてCVCを留置する技能を持つことを示す必要がある。

## コストと実践

CVC 挿入時の US ガイドの使用普及を妨げる主な原因は、US 機器の購入コストである。大抵の救急部に配備されている典型的な機種は、プローブを含めて 11,000 ~ 16,000 米ドルである。

CVC 留置を行う部署のレイアウトにも拠るが、平均的な 400 床の病院で、手術室以外で使用するのに必要な台数は 1-3 台である。(熟練した麻酔医は US ガイドを使わなくても殆どの CVC を挿入できるので、麻酔科はせいぜい 1, 2 台しか必要としないかもしれない)

看護師が US ガイド下に末梢血管用中心静脈カテーテル (Peripherally inserted central catheter : PICC) 留置を行う病院では、一台の機械でこの業務を行っているが、仕事の流れと量によっては、CVC 留置にも使用されるかもしれない。ドップラー・スマート針 (非ドップラー式 US ガイド法では必要ない) は、通常の針が 3 - 5 ドルであるのに対して、40 - 70 ドルである。新しい術者のトレーニング (目印法の経験しかない術者を含む) のコストに関しては、今後の検討が必要である。

## コメント

リアルタイム US ガイド下 CVC 挿入は、ドップラー補助の有無にかかわらず、カテーテル挿入成功率を改善し、留置に成功するまでの静脈穿刺回数を減少させ、カテーテル挿入に関連した合併症を減少させる。しかし既に目印法の経験がある術者にとっては、最初の学習期間を経るまでこの有用性は生じないかもしれない[9]。

US ガイド法による CVC 挿入が、全体的な患者アウトカム (死亡率、在院日数など) に及ぼす影響を検討した研究はない。さらに CVC 挿入に関連した合併症の多くは、軽度かあるいは治療が容易である。CVC 挿入時の患者の疼痛や不快感は測定されていないが、静脈穿刺回数の減少はこれらを軽減させると考えられる。

初心者、経験の乏しい医師や高リスク患者において、US ガイド法は最大の便益をもたらし得る。一つ以上のリスク因子をもつ患者 (全身浮腫や凝固障害をともなう人工陽圧換気中の重症患者など) は、最大の恩恵を受ける可能性がある。リアルタイム US ガイド法を使った CVC 挿入トレーニングは、はじめての術者に付加的な学習の価値をもたらすかもしれない。トレーニングで得た知識により、US ガイドを使用しなくても CVC 挿入の成功率が上昇する可能性がある。シミュレーション・トレーニングは目印法と比較して、US を使った目標静脈の同定を改善させることを示した[29]。

最後に、リアルタイム US ガイド法に加えて、他のアプローチも CVC 挿入に関連したリスクを減少させることを念頭におくべきである。PICC は現在広く普及しつつあり。特定の適応下 (長期血管確保あるいは非経口栄養) では CVC の代替法として容認されている[30,31]。

US ガイド法は、PICC の挿入も改善することが示されてきた[32-34]。PICC 使用の増加は、各病院が超音波装置を購入する契機となるかもしれない。

すでに留置されている CVC の交換が必要な患者に、ガイドワイヤーを使って交換すると、新たに静脈穿刺をせずに済む。系統的レビューによると、ガイドワイヤーを使った交換は新しい部位への留置より物理的合併症が少ないが、カテーテル関連感染症のリスクを増大する可能性がある（第 16 章参照）[35]。

死体を使った実演も含め、初心者（1 年目のレジデントや医学生）に CVC 挿入の技術を教育する多角的な代替法が用いられてきた[36]。将来的な CVC 挿入の教育法として、コンピューター技術を使ったシミュレーションが挙げられる（第 45 章参照）。触覚あるいは知覚関連技術は仮想現実モデルを利用して、まるで手技を行っているかのような感覚が再現できる模擬環境を作り出すことができる。[37,38] 仮想現実モデルやその他の新技術を利用すると、初心者は臨床の場で CVC を挿入する前に経験と自信を持つことができ、さらには患者安全性を改善することができる。

表 21.1 中心静脈カテーテルに対する超音波・ドップラー超音波ガイド\*

研究対象施設と対象者	発表年	介入	研究デザイン、アウトカム	相対リスク減少 (%) †		
				カテーテル挿入失敗	平均挿入試行回数§	合併症
超音波						
第 3 次医療、教育病院 ICU[13]	1990	ガイド針を使わない内頸静脈 CVC 挿入時の US ガイド；US 技師による同時フィードバック	レベル 1 レベル 2	100NS	44	NA
第 3 次医療教育病院心臓胸部外科患者[14]	1991	ガイド針を使わない内頸静脈 CVC 挿入時の US ガイド(7.5 と 5.0MHz のトランスデューサー)；	レベル 1 レベル 2	100	44	83NS
第 3 次医療、教育病	1993	ガイド針を用いた心臓カテーテルあるいは	レベル 1	100	48	80

院、心疾患をもつ患者 [11]		は CVC 挿入のための内頸静脈カニュレーション時の US ガイド(7.5MHz トランスデューサー);	レベル 2			
都市部にある教育病院 ICU[12]	1995	ガイド針を用いた鎖骨下静脈 CVC 挿入時の US ガイド (7.5MHz トランスデューサー);	レベル 1 レベル 2	86	48	90
都市部にある教育病院 ED、CPR 期間[15]	1997	ガイド針を使わない大腿静脈 CVC 挿入時の US ガイド (7.5MHz トランスデューサー);	レベル 1 レベル 2	71	54	100
		ドップラー式超音波				
第 3 次 医療、教育病院心臓胸部血管外科患者[8]	1994	プロ - ベ針を用いたドップラーUS ガイド下の内頸静脈 CVC 挿入	レベル 1 レベル 2	0	52	0
英国の病院、心臓外科患者と ICU 患者 [10]	1994	プロ - ベ針を用いたドップラーUS ガイド下の内頸静脈 CVC 挿入	レベル 1 レベル 2	-50NS	17NS	0
第 3 次 医療、教育病院 ICU あるいは OR ; 高リスク患者[6]	1995	プロ - ベ針を用いた音声ガイド式ドップラーUS ガイド下の内頸静脈 CVC 挿入	レベル 1 レベル 2	63	18NS	88

フランスの 教育病院 ICU、低リ スク患者 [17]	1998	プロ - ベ針を用いな い拍動式ドップラー US ガイド下の鎖骨 下静脈 CVC 挿入	レベル 1  レベル 2	-32§	0	67
第 3 次 医 療、外来腫 瘍 センタ ー[6]	1998	プローベ針を用いた ドップラーUS ガイ ド下の鎖骨下静脈 CVC 挿入	レベル 1  レベル 2	-46§	NA	-53NS

\*CPR (心肺蘇生); CT (心臓胸部); ED (救急部); ICU (集中治療室); IJ (内頸静脈);  
NA (利用不可); NS (統計学的有意性なし); OR (手術室); RCT (ランダム化比較試験);  
SC (鎖骨下静脈); (超音波装置)

†パーセント相対危険度減少は、US ガイドによる CVC 留置に関連したリスクのパーセント  
変化を表す。負の値は、US ガイド法によりリスクが増加したことを示す。

§ 成功までの挿入試行回数による相対リスク減少は、US ガイドによる 1 患者あたりの成功  
までの平均穿刺試行回数の相対的減少を表す。