

小児における超音波ガイド下中心静脈穿刺

山本知裕*

【要旨】 本稿では、中心静脈カテーテル(CVC)の用途、CVC留置関連合併症とリスク、CVCの太さの目安、複数のアプローチにおけるリアルタイム超音波ガイド下中心静脈穿刺テクニック、理想的なCVC留置長の実現のための方法、peripherally inserted central catheter(PICC)挿入について幅広く紹介する。超音波の特性を理解し、リアルタイム超音波ガイド下中心静脈穿刺をより正確に安全に行えるようになること、普段慣れ親しんでいるアプローチ以外のアプローチも習得しておくことは、プレスキャンで目標血管の状態を把握し、必要があれば他のアプローチへ切り替えられる身軽さを可能にし、それぞれの症例に合ったより良い管理をするうえで、麻酔科医のみならず患者にとっても非常に重要である。

キーワード：中心静脈穿刺，リアルタイム超音波ガイド下テクニック，中心静脈カテーテル留置関連合併症，超音波の特性，ピットフォール

緒 言

麻酔科領域において、中心静脈穿刺におけるリアルタイム超音波ガイド下テクニックの応用が報告されたのは30年以上前に遡る¹⁾。現在では、リアルタイム超音波ガイド下テクニックは、中心静脈穿刺に限らず、神経ブロックにおいても広く用いられており、その習得はいまや麻酔科医にとって必須事項であると言っても過言ではないだろう。

この度、「小児における超音波ガイド下中心静脈穿刺」という題目で教育講演の機会をいただいた。小児患者のみならず成人患者の周術期麻酔管理において、麻酔科医にとって最もなじみのあるアプローチは内頸静脈アプローチであると思われる。しかし、内頸静脈アプローチだけでなく、ほかのアプローチを“引き出し”の一つとして習得しておくことは、

アプローチが可能な部位が制限された症例に遭遇した場合などに、患者のみならず麻酔科医自身を助けることにもなる。

本稿では、中心静脈カテーテル(central venous catheter : CVC)の用途、CVC留置関連合併症とそのリスクや予防のために知っておきたい事項、CVCの太さの目安、複数のアプローチにおけるリアルタイム超音波ガイド下中心静脈穿刺テクニック、理想的なCVC留置長の実現のための方法、peripherally inserted central catheter(PICC)挿入について幅広く紹介する。

I CVCの用途

CVCの用途は多岐にわたる。麻酔科医がかかわる周術期麻酔管理においては、カテコラミンなどの血管作動薬の投与ルートとして、また、中心静脈圧

*新潟大学大学院医歯学総合研究科麻酔科学分野

著者連絡先 山本知裕
〒951-8510 新潟県新潟市中央区旭町通1番町757
新潟大学大学院医歯学総合研究科
麻酔科学分野

(central venous pressure, 以下CVP)の測定による血液循環モニタリング目的に使用される。最近では、血行動態モニタリングの一環として、Edwards oximetry central venous catheter^{2)~4)}(トリプルルーメンタイプは8.5Fr, ダブルルーメンタイプは7Fr)(Edwards Lifesciences Japan Ltd., Tokyo, Japan)とFloTrac Sensor⁵⁾(Edwards Lifesciences Japan Ltd., Tokyo, Japan)を組み合わせることで、Swan-Ganz 肺動脈カテーテルの挿入によって得られる酸素需給バランスや血行動態についての情報^{6), 7)}を非侵襲的にモニタリングするデバイスも登場している。さらには、小児患者での使用が可能なサイズであるPediaSat oximetry central venous catheter(トリプルルーメンタイプは5.5Fr, ダブルルーメンタイプは4.5Fr)も登場した。ほかにも、患者が想定外の末梢静脈確保困難症例であった場合や救急外来など早急に静脈路確保が求められる状況における打開策として中心静脈穿刺が必要となる場合に遭遇する可能性もあり、他科の医師からも血管穿刺の専門家と目されていることが多いであろう麻酔科医としては、そのような状況にも対応することが求められる。そのような場合においても、やはり、いろいろなアプローチを“引き出し”として習得しておいて損はない。

II CVC 留置関連合併症リスク回避とリアルタイム超音波ガイド下中心静脈穿刺テクニック

CVC 留置関連合併症として最も頻度が高いのは、CVC 関連深部静脈血栓症^{8), 9)}とCVC 関連感染¹⁰⁾であろう。まず、CVC 関連深部静脈血栓症は大腿静脈アプローチで最も多く、その頻度は小児患者においては大腿静脈で32%、鎖骨下静脈で27%、内頸静脈で8%と報告されており¹¹⁾、また、患者の年齢が低いほど頻度が高いと報告されている^{8), 12)}。一方、CVC 関連感染については、大腿静脈アプローチで最も多いとする報告^{9), 13), 14)}と、穿刺部とは関連性がないとする報告^{15)~17)}の双方があるが、CVC 関連感

染のリスクを考慮して、大腿静脈アプローチを薦めないとする報告やガイドラインも存在する^{18)~20)}。以上のような事情に鑑みると、小児患者を含め、周術期管理における中心静脈穿刺は患者の上半身へのアプローチが好ましいように思われる。しかし、鎖骨下静脈アプローチは、内頸静脈アプローチや大腿静脈アプローチと比較して、穿刺時の合併症のリスクが高く¹⁵⁾、緊急時の穿刺の成功率が低い²¹⁾と報告されている。したがって、周術期麻酔管理においてCVCを挿入する機会が多い麻酔科医には、内頸静脈アプローチが選択されることが多いのは不思議ではない。実際、麻酔科領域においてリアルタイム超音波ガイド下中心静脈穿刺の最初の報告¹⁾は内頸静脈アプローチについてであった。その後、リアルタイム超音波ガイド下テクニックがプレスキャンのみを行う方法よりも穿刺時間が短く、かつ、成功率が高いことが報告され²²⁾、また、小児患者に対する中心静脈穿刺においても安全性と迅速性を提供することが多数報告された²³⁾。

III CVCの太さの目安

小児患者において、『CVCの太さ>目標血管の太さの1/3』が、CVC 関連静脈血栓症の発生と関連があると報告されている²⁴⁾。すなわち、『CVCの太さは目標血管の直径の3分の1以下にする』ことを目安にするとよい。さて、CVCの太さを表す単位として、フレンチ(Fr)とゲージ(G)があるが、Frとmmの間には『Frを3で割るとmmになる(mm = Fr/3)』という関係がある。この知識と、上記の『CVCの太さは目標血管の直径の3分の1以下にする』を組み合わせて、『計測された目標血管の直径(mm)の数値と同じFr以下の太さのCVCを選択するとよい』と覚えておくとよい。例えば、プレスキャンで目標血管の直径が5mmであった場合には、5Fr以下の太さのCVCを選択することが適切であるといえる。一方、ゲージ(G)とmmの関係は容易ではないので、その都度CVCのパッケージに書かれてい



図1 内頸静脈アプローチにより挿入され、患者の耳の前から側頭部や頭髪部にかけて固定されたCVC

る太さ(mm)を参照するしかなく、製品によってはパッケージにmmで表した情報が載っていないため、インターネットなどでGとmmの関係を確認する必要がある。参考までに、新潟大学医歯学総合病院では、人工心肺を用いる心臓手術を受ける小児患者(おおむね体重は3kg以上のことが多い)の場合には、8cmもしくは15cmの15GトリプルルーメンCVCを、体重が3kg未満で人工心肺を用いない姑息手術の適応となる小児患者の場合には8cmの17GダブルルーメンCVCを選択しているが、15Gと17Gはそれぞれの1.45mmと1.14mmに相当する。

IV CVCルーメンの選択の一例 (新潟大学医歯学総合病院小児心臓麻酔チームの場合)

新潟大学医歯学総合病院小児心臓麻酔チームでは、CVPを最も手前に開口しているproximalルーメンに接続している。万が一、何かの理由でCVCが浅くなった場合に、最も早期に血管外へ逸脱するproximalルーメンにCVPを接続しておけば、CVP波形や数値の変化により早期に気が付くことができるからである。一方、カテコラミンなどの昇圧剤は、万が一CVCが浅くなってきた場合にも最後まで患者の血管内に投与され続けるよう、CVCの先端に開口しているdistalルーメンに接続している。

V リアルタイム超音波ガイド下内頸静脈アプローチ

麻酔科医として最も関係する場面は周術期麻酔管理であろう。周術期麻酔管理においては、前述のように、静脈血栓症やカテーテル関連感染の懸念、患者の快適性、さらには、CVC留置後のラインへのアクセスの良さを考えると、大腿静脈アプローチよりは、患者上半身へのアプローチを選択したい。内頸静脈アプローチは、麻酔科医にとって最もなじみ深い中心静脈アプローチであり、読者のほとんどが、ほぼ全例において内頸静脈アプローチを選択しているものと思われる。しかし、図1に示すように、小児患者において内頸静脈に留置されたCVCは、患者の耳の前から側頭部、特に新生児や体格が小さな小児患者では頭髪部にかけて固定せざるを得ない場合が経験される。見た目が悪いばかりでなく、患者本人や看護者の快適性の観点から疑問が残る。そればかりか、患者の頭の向きによってCVCが折れ曲がることにより薬剤の流量が不安定になる結果、特にカテコラミンなどの血管作動薬が投与されている場合に患者の血行動態管理上の問題となることがたびたび経験される。また、同じ血管に複数回、もしくは長期にわたりCVCが留置された場合、その血管が閉塞してしまった症例にも遭遇することがあり²⁵⁾、ほかのアプローチでのCVC留置が余儀なく

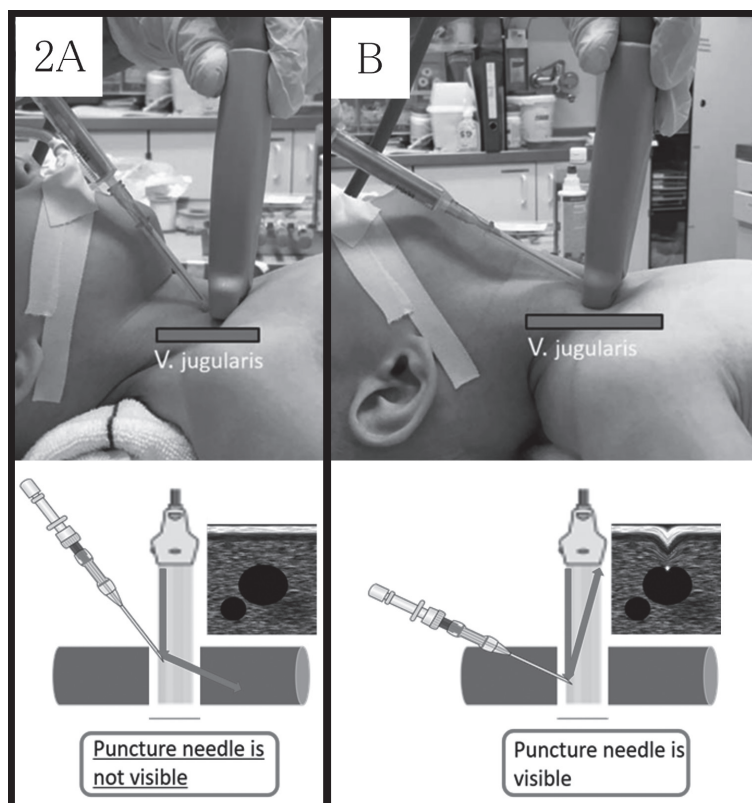


図2 内頸静脈アプローチにおける頸部伸展の有用性

リアルタイム超音波ガイド下内頸静脈アプローチにおいて、患者頸部を伸展させる(A→B)ことにより、目標血管が患者の体表近くへ移動し、穿刺針を患者の皮膚に対してより平行に穿刺することができる。これにより、①より多くの超音波ビームが超音波プローベへ戻ってくるため穿刺針が超音波装置モニター上で描出されやすくなり、②穿刺針が目標血管の後壁に到達するまでの距離が長くなる。

される。また、小児患者の場合、成人と比べて患者の頸が短いことや頭部が大きいため、スペース的にリアルタイム超音波ガイド下テクニックでは短軸アプローチしかできないことが多い。本アプローチでの成功率を上げるためのポイントとして、①成人と比較して目標血管の径が細いため、穿刺針が容易に後壁へ突き抜けてしまわないようにすることと、②「超音波プローベから出た超音波ビームが、超音波プローベに戻ってきて初めて画像として描出することができる」という超音波の特性上、なるべく多くの超音波ビームが超音波プローベへ戻ってくるように、穿刺針をなるべく皮膚に対して平行に刺入するよう

心がけることである。そのためには、図2に示すように、患者頸部を伸展させる工夫をするとよい²⁶⁾。内頸静脈アプローチで気を付けるべきピットフォールは、図3で示すように、「穿刺針先端が血管内に届いているように見えても、実際には穿刺針はまだ目標血管の前壁を引っ張ってきており血管壁を穿刺できていない」という状況である。一見穿刺針先端が血管内にあるように見えるため、そこで穿刺針の前進をやめてしまうと、血液の逆流は得られない。穿刺針に引っ張られてついてきている目標血管前壁が“プツン”と破れる瞬間が見えるまで、穿刺針を前進させることが大切である。

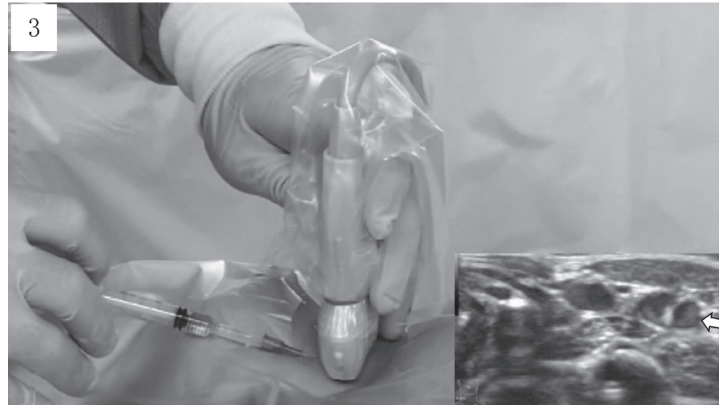


図3 内頸静脈アプローチで気を付けるべきピットフォール
 穿刺針先端が目標血管内に届いているように見えるが、実際には穿刺針はまだ目標血管の前壁を引っ張ってきており血管壁を穿刺できていない(矢印)ことが大事なピットフォールである。穿刺針に引っ張られてついてきている目標血管前壁(矢印)が“プツン”と破れる瞬間が見えるまで、穿刺針を前進させることが大切である。

VI リアルタイム超音波ガイド下鎖骨下アプローチ/ 腋静脈アプローチ

内頸静脈アプローチよりも患者の快適性が良いため、化学療法や静脈栄養などの目的で長期留置を伴うCVC留置を他科から依頼された場合に選択される機会があると思われる。リアルタイム超音波ガイド下鎖骨下アプローチでは、短軸法と長軸法の両方が可能であるが、超音波ビームが鎖骨により障害されるため、古典的なランドマーク法鎖骨下アプローチの刺入点(鎖骨内側3分の1や中点の鎖骨直下)と比較して、刺入点が外側になる²⁷⁾ため、実際の目標血管は腋静脈レベルとなる。本アプローチにおいては、短軸法では目標血管の後壁損傷の可能性が高いと報告されている²⁸⁾が、短軸法においては長軸法と比較して穿刺針の先端と目標血管の位置関係の描出が容易でない症例があるためであると思われる。長軸アプローチでは、目標血管と穿刺針侵入経路の全長の描出が可能であるが、超音波プローベの横幅のため、穿刺点がさらに患者の外側になる。特に小さな小児患者においては、刺入点が患者のより外側

になるため、HickmanカテーテルやBroviacカテーテルの留置の際に、カテーテルの皮下留置長を稼ぐ目的で皮下トンネルの開口部を乳頭よりも内側になるようにデザインせざるを得ない場合には、患者のより外側で腋静脈に挿入されたカテーテルを皮下トンネル内で鋭角に折り返す必要があることにまつわる滴下不良トラブルには注意が必要である(図4)²⁹⁾。また、腋静脈は鎖骨下静脈や腕頭静脈よりも末梢側に存在しその径が細い³⁰⁾ため、先に述べたように、特に小児患者においては留置されるCVCの太さと血管の径の関係にいま一度留意が必要である。また、鎖骨下アプローチ、腋静脈アプローチともに、CVC挿入時の患者体位やCVC留置後の手術体位によっては、留置されたCVCが鎖骨と第一肋骨の間に挟まり滴下不良の原因となりうることに注意が必要である。

VII リアルタイム超音波ガイド下鎖骨上アプローチ

鎖骨上アプローチの目標血管は腕頭静脈である²⁵⁾。図5に示すように、リアルタイム超音波ガイド下鎖骨上アプローチでは長軸法が用いられ、目標

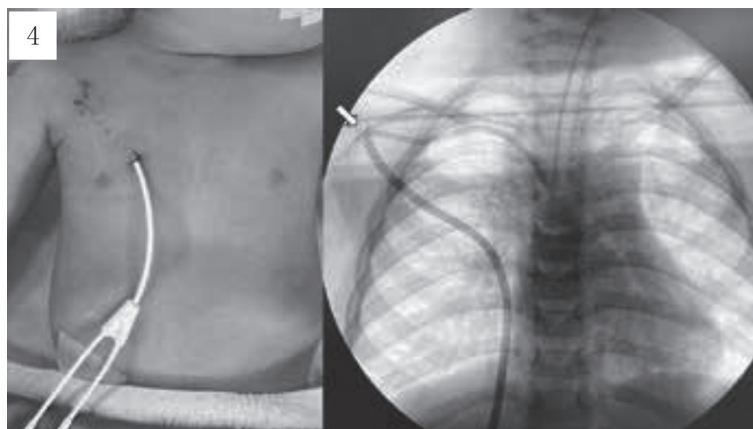


図4 腋静脈アプローチで留置されたHickmanカテーテルの皮下トンネル内での折れ曲がりトラブル

身長82cm, 体重10kgの2歳児に対して, リアルタイム超音波ガイド下鎖骨下アプローチ/腋静脈アプローチで挿入されたHickmanカテーテル. カテーテルの皮下留置長を稼ぐため, 皮下トンネルの開口部が乳頭よりも内側になるようにデザインされた結果, カテーテルが皮下トンネル内で鋭角に折り返され, カテーテルの内腔が閉塞した症例. [文献29)より引用]

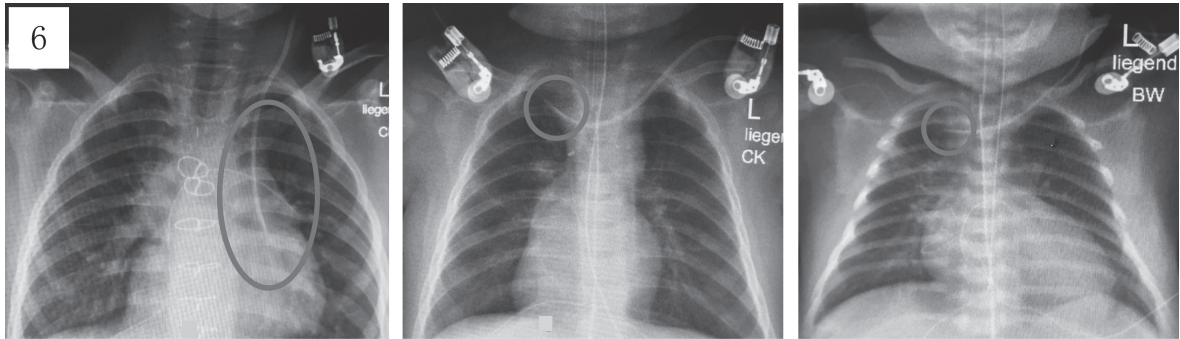


図5 リアルタイム超音波ガイド下右鎖骨上アプローチ

リアルタイム超音波ガイド下鎖骨上アプローチでは長軸法が用いられ, 目標血管と穿刺針(矢印)の全長を確認しながら穿刺できる. [文献25)より引用]

血管と穿刺針の全長を確認しながら穿刺できる²⁵⁾. そのため, 「針先を確認しながら穿刺針を進める」というリアルタイム超音波ガイド下テクニックを正しく行いさえすれば, 目標血管の穿刺を確実に行うことができる. また, 腕頭静脈は鎖骨下静脈と内頸静脈の合流部よりも中枢側に存在し, 径がさらに太

い. 実際に, リアルタイム超音波ガイド下鎖骨上アプローチは, リアルタイム超音波ガイド下鎖骨下アプローチ/腋静脈アプローチと比較して, 成功率が高く, 合併症が少ないことが報告されている²⁷⁾. 左右のリアルタイム超音波ガイド下鎖骨上アプローチと比較すると, 左側からのアプローチの方が目標血管



CVCが PLSVC経由でcoronary sinusへ (5.0%)

CVC先端が右腕頭静脈へ向かう (3.7%)

CVC先端がSVC外側壁に接する (3.4%)

図6 左鎖骨上アプローチから挿入されたCVCの位置異常

左鎖骨上アプローチから挿入されたCVCの10%以上で、CVC先端の位置異常が生じた。内訳は、①CVC先端が上大静脈の右外側壁に接する形で留置された場合(上大静脈の穿孔や薬剤漏出の危険性)、②CVC先端が対側の腕頭静脈へ逆行した場合、③左上大静脈残存(persistent left superior vena cava: PLSVC)が存在する患者においてCVCがPLSVCからcoronary sinus内に留置された場合であった。〔文献33)より引用〕



図7 マスク換気下でも施行可能な鎖骨上アプローチ

鎖骨上アプローチは、ほかの麻酔科医がマスク換気を行っている状況下でも穿刺が可能であることが大きな利点である。

〔文献34)より引用〕

(左腕頭静脈/無名静脈)と穿刺針の描出が容易であり、穿刺の成功率も高いことが報告されている^{31),32)}。それは、左腕頭静脈/無名静脈と比較して、右腕頭静脈が体幹軸方向へ急峻に走行することと、それに伴う穿刺針の角度が関係していそうである。しかしながら、図6に示すように、左側からCVCを挿入した場合、CVC先端が上大静脈の右外側壁に接する形で留置されたり(上大静脈の穿孔や薬剤漏出の危険性)、CVC先端が対側の腕頭静脈へ逆行したり、

さらには左上大静脈残存(persistent left superior vena cava: PLSVC)が存在する患者ではCVCがPLSVCからcoronary sinus内に留置されることさえあり、その頻度は左から挿入されたCVCの10%以上になると報告されている³³⁾。これらのCVC先端位置異常は、鎖骨上アプローチに限らず、左側からCVCを挿入した場合にいつでもその可能性を考慮しておく必要があると思われる。一方、左側からのリアルタイム超音波ガイド下鎖骨上アプローチが

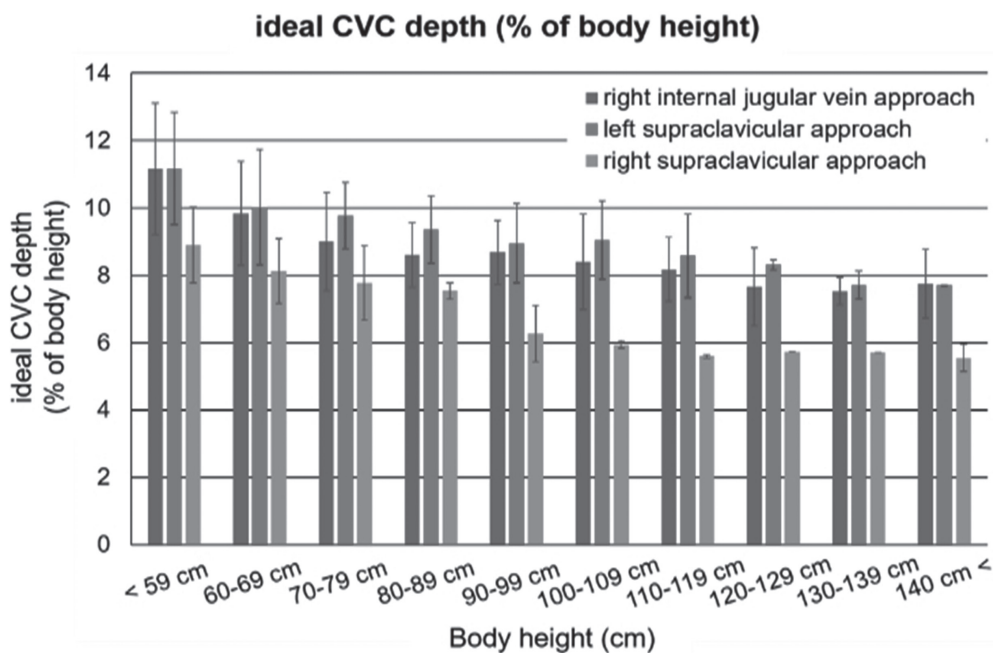


図8 小児患者におけるCVC留置長と患者身長の関係性を示したグラフ

右内頸静脈アプローチ，ならびに左右の鎖骨上アプローチにおいて，CVC先端が気管分岐部の深さに留置されるCVC留置長を示している．患者の身長が100cmを超えると，理想的なCVC留置長の身長に対する割合はプラトーに達する．

〔文献33〕より引用〕

対側と比較して容易であるという利点は，末梢静脈ラインの確保が困難にもかかわらず，早急に静脈路を確保しなければならない場合に应用できる³⁴⁾．図7に示すように，鎖骨上アプローチはほかの麻酔科医がマスク換気を行っている状況下でも穿刺が可能であることも大きな利点である³⁴⁾．これから人工心肺を使用する開心術の麻酔導入中に，例えばファロー四徴症の患者が低酸素発作を起こした場合に，早急な補液や薬剤投与ライン確保のために骨髄穿刺を選択することが現実的であるのかどうかをいま一度考えた場合，リアルタイム超音波ガイド下左鎖骨上アプローチによる中心静脈へのアクセスを選択肢の一つとして習得しておく，有事の際には大いに役立つと思われる．また，開心術前に長期入院管理をされていたために，末梢静脈がまったく残っていないような症例においても本アプローチは非常に役に立つ．

Ⅷ CVC留置長の目安

CVC先端の位置として，上大静脈と右心房との接合部の高さと同じ高さの気管分岐部の高さが成人患者においてのみならず小児患者においても推奨される^{35)~37)}．CVC先端位置をそのような位置に留置する方法として，さまざまなランドマーク法や計算式^{38)~40)}，さらには，経食道心エコー^{39), 41)}や経胸壁心エコー⁴²⁾，心電図リード内蔵型CVC^{43)~45)}やCT³⁸⁾を用いる方法まで，さまざまな方法が報告されている．しかし，ランドマーク法は複雑なうえ，清潔ドレープで覆われた患者において正確なランドマークを確認することは容易ではなさそうである．また，計算式も非常に複雑であり，記憶しておくことも容易ではないように思われる．さらに，経食道心エコーや経胸壁心エコー，心電図リード内蔵型CVCやCTを用いる方法はすべての施設で用いることは不可能である

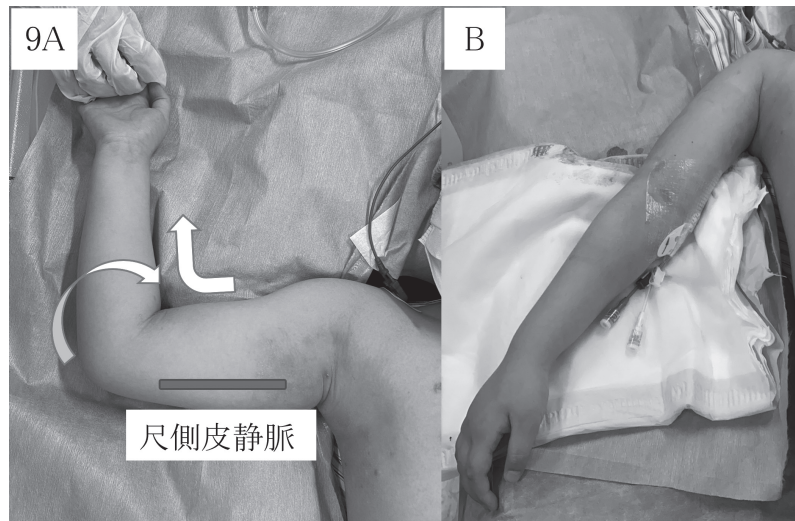


図9 リアルタイム超音波ガイド下PICC挿入

新潟大学医歯学総合病院小児外科では，上腕への peripherally inserted central catheter (PICC) 挿入が第一選択となっている。

A：上腕へのPICC挿入においては，走行がまっすぐである尺側皮静脈 (basilic vein) が目標血管となるため，患者上肢を屈曲，外旋する。

B：上腕へ挿入されたPICCの完成形

し，術式によっては不要な侵襲を患者に加えることになる。このような点に鑑みて，筆者は小児患者におけるCVC留置長と患者身長の関係性を示したグラフを作成した(図8)³³⁾。この臨床研究において扱った右内頸静脈アプローチ，ならびに左右の鎖骨上アプローチは，筆者が麻酔科専門医として以前勤務していたドイツ小児心臓センター(Sankt Augustin, ドイツ，年間心臓手術件数700件以上)において用いられていたアプローチであり，CVC先端が気管分岐部の深さに留置されるCVC留置長について，心臓手術を受けた延べ約750名の小児患者で調べた。注目すべき点は，右内頸静脈アプローチと左鎖骨上アプローチのCVC留置長が統計学的に有意差がなかったことと，右内頸静脈アプローチと左鎖骨上アプローチと比較して右鎖骨上アプローチの留置長が有意に短かったことである。鎖骨上アプローチは読者の施設ではまださほど普及していないかもしれないが，図8は右内頸静脈アプローチのCVC留置長も表示しているので，手術室の壁に貼るなどし

て適宜参考にできるだろう。図8が示すように，患者の身長が100cmを超えると，理想的なCVC留置長の身長に対する割合はプラトーに達する。これは，小児患者の身長が小さいうちは身長に対して上半身の割合が大きいものに対して，身長が大きくなるに従って上半身の割合が次第に小さくなり，身長が100cmを超える頃には上半身の割合が一定になることを示していると解釈してよいだろう。

IX リアルタイム超音波ガイド下PICC挿入

CVC挿入方法の選択肢としてperipherally inserted central catheter (PICC)がある。PICCは肘付近や前腕に挿入すると，肘関節屈曲の影響を受ける可能性があるため，新潟大学医歯学総合病院小児外科では，上腕へのPICC挿入を第一選択としている。上腕へのPICC挿入においては，走行がまっすぐである尺側皮静脈(basilic vein)が目標血管となるため，患者上肢を屈曲，外旋する(図9)。この穿刺肢位で患者の腕を固定したら，最短ルートで目標血管を穿

刺(神経損傷などの合併症を回避)できるように、消毒後、プレスキャンを行い尺側皮静脈の走行を確認してから穿刺を行うのは、リアルタイム超音波ガイド下CVC挿入と同様の手技である。PICC先端が目標の深さ(新潟大学医歯学総合病院小児外科では第3肋骨や第4胸椎付近を目標としている)になるように、X線透視を併用している。上腕へ挿入されたPICCの完成形は図9に示すとおりである。

結 語

本稿では、日本臨床麻酔学会第41回大会教育講演「小児における超音波ガイド下中心静脈穿刺」の内容について、CVCの用途、CVC留置関連合併症リスクを回避するために選択すべきCVCの太さの目安、複数のアプローチにおけるリアルタイム超音波ガイド下中心静脈穿刺テクニック、理想的なCVC留置長の実現のための方法の一例、さらにはPICC挿入方法まで幅広く紹介した。

超音波の特性を理解して、それについて意識することにより、リアルタイム超音波ガイド下テクニックをより正確に安全に行えるようになることと、普段慣れ親しんでいるアプローチだけでなく、ほかのアプローチも“引き出し”として習得しておくことが重要である。言い換えれば、中心静脈を穿刺する前のプレスキャンの時点で目標血管の状態を把握して、必要があればほかのアプローチへ切り替えられるだけの身軽さを身につけておくことは、それぞれの症例に合った最善の周術期管理のみならず、患者の予後を大いに左右しうる非常に重要な要素である。担当した麻酔科医の知識や技量が豊富であった(たくさんの“引き出し”を持っていた)おかげで、患者の生命を救えたり、その後の予後を改善することができるのであれば、非常に素晴らしいことであるが、その逆であった場合は非常に残念なことであり、ひいては preventable death にもつながりうる非常に重要なテーマであると思われる。

参考文献

- 1) Yonei A, Nonoue T, Sari A : Real-time ultrasonic guidance for percutaneous puncture of the internal jugular vein. *Anesthesiology* 64 : 830-831, 1986
- 2) Donati A, Loggi S, Preiser JC, et al. : Goal-directed intraoperative therapy reduces morbidity and length of hospital stay in high-risk surgical patients. *Chest* 132 : 1817-1824, 2007
- 3) Gan TJ, Soppitt A, Maroof M, et al. : Goal-directed intraoperative fluid administration reduces length of hospital stay after major surgery. *Anesthesiology* 97 : 820-826, 2002
- 4) Pinsky MR, Vincent JL : Let us use the pulmonary artery catheter correctly and only when we need it. *Crit Care Med* 33 : 1119-1122, 2005
- 5) Cannesson M : Arterial pressure variation and goal-directed fluid therapy. *J Cardiothorac Vasc Anesth* 24 : 487-497, 2010
- 6) Ganz W, Donoso R, Marcus HS, et al. : A new technique for measurement of cardiac output by thermodilution in man. *Am J Cardiol* 27 : 392-396, 1971
- 7) Swan HJ, Ganz W, Forrester J, et al. : Catheterization of the heart in man with use of a flow-directed balloon-tipped catheter. *N Engl J Med* 283 : 447-451, 1970
- 8) Beck C, Dubois J, Grignon A, et al. : Incidence and risk factors of catheter-related deep vein thrombosis in a pediatric intensive care unit : a prospective study. *J Pediatr* 133 : 237-241, 1998
- 9) Merrer J, De Jonghe B, Golliot F, et al. : Complications of femoral and subclavian venous catheterization in critically ill patients : a randomized controlled trial. *JAMA* 286 : 700-707, 2001
- 10) 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* 27 : 713-718, 2006
- 11) Male C, Julian JA, Massicotte P, et al. : Significant association with location of central venous line placement and risk of venous thrombosis in children. *Thromb Haemost* 94 : 516-521, 2005
- 12) Berman W Jr, Fripp RR, Yabek SM, et al. : Great vein and right atrial thrombosis in critically ill infants and children with central venous lines. *Chest* 99 : 963-967, 1991
- 13) Lorente L, Henry C, Martín MM, et al. : Central venous catheter-related infection in a prospective and observational study of 2,595 catheters. *Crit Care* 9 : R631-R635, 2005

- 14) Srisan P, Juhong S, Kanjanapatanakul W : Central venous catheterization related complications in Pediatric Intensive Care Unit at Queen Sirikit National Institute of Child Health. *J Med Assoc Thai* 97(Suppl 6) : S83-S88, 2014
- 15) Casado-Flores J, Barja J, Martino R, et al. : Complications of central venous catheterization in critically ill children. *Pediatr Crit Care Med* 2 : 57-62, 2001
- 16) Deshpande KS, Hatem C, Ulrich HL, et al. : The incidence of infectious complications of central venous catheters at the subclavian, internal jugular, and femoral sites in an intensive care unit population. *Crit Care Med* 33 : 13-20 ; discussion 234-235, 2005
- 17) Parienti JJ, Thirion M, Mégarbane B, et al. : Femoral vs jugular venous catheterization and risk of nosocomial events in adults requiring acute renal replacement therapy : a randomized controlled trial. *JAMA* 299 : 2413-2422, 2008
- 18) O'Grady NP, Alexander M, Burns LA, et al. : Guidelines for the prevention of intravascular catheter-related infections. *Am J Infect Control* 39(Suppl 1) : S1-S34, 2011
- 19) O'Grady NP, Alexander M, Burns LA, et al. : Summary of recommendations : Guidelines for the Prevention of Intravascular Catheter-related Infections. *Clin Infect Dis* 52 : 1087-1099, 2011
- 20) O'Grady NP, Alexander M, Burns LA, et al. : Guidelines for the prevention of intravascular catheter-related infections. *Clin Infect Dis* 52 : e162-e193, 2011
- 21) Karapinar B, Cura A : Complications of central venous catheterization in critically ill children. *Pediatr Int* 49 : 593-599, 2007
- 22) Hosokawa K, Shime N, Kato Y, et al. : A randomized trial of ultrasound image-based skin surface marking versus real-time ultrasound-guided internal jugular vein catheterization in infants. *Anesthesiology* 107 : 720-724, 2007
- 23) Schindler E, Schears GJ, Hall SR, et al. : Ultrasound for vascular access in pediatric patients. *Paediatr Anaesth* 22 : 1002-1007, 2012
- 24) Östlund A, Flåring U, Norberg A, et al. : Incidence of and risk factors for venous thrombosis in children with percutaneous non-tunnelled central venous catheters. *Br J Anaesth* 123 : 316-324, 2019
- 25) Yamamoto T, Schindler E : Real-Time Ultrasound-Guided Right Supraclavicular Approach to the Central Vein : An Alternative Option. *Anesth Analg* 125 : 359, 2017
- 26) Yamamoto T, Schindler E : Notfälle im Rettungsdienst und in der Klinik : Gefäßzugänge bei Kindern. *Anesthesiol Intensivmed Notfallmed Schmerzther* 52 : 55-64, 2017
- 27) Byon HJ, Lee GW, Lee JH, et al. : Comparison between ultrasound-guided supraclavicular and infraclavicular approaches for subclavian venous catheterization in children--a randomized trial. *Br J Anaesth* 111 : 788-792, 2013
- 28) Frankel HL, Kirkpatrick AW, Elbarbary M, et al. : Guidelines for the Appropriate Use of Bedside General and Cardiac Ultrasonography in the Evaluation of Critically Ill Patients-Part I : General Ultrasonography. *Crit Care Med* 43 : 2479-2502, 2015
- 29) Yamamoto T, Arai Y, Schindler E : A real-time ultrasound-guided supraclavicular approach to the brachiocephalic vein to prevent Hickman catheter bending and occlusion. *Anaesthesiol Intensive Ther* 53 : 274-276, 2021
- 30) Bodenham A, Lamperti M : Ultrasound guided infraclavicular axillary vein cannulation, coming of age. *Br J Anaesth* 116 : 325-327, 2016
- 31) Breschan C, Graf G, Jost R, et al. : Ultrasound-guided supraclavicular cannulation of the right brachiocephalic vein in small infants : a consecutive, prospective case series. *Paediatr Anaesth* 25 : 943-949, 2015
- 32) Breschan C, Graf G, Jost R, et al. : A Retrospective Analysis of the Clinical Effectiveness of Supraclavicular, Ultrasound-guided Brachiocephalic Vein Cannulations in Preterm Infants. *Anesthesiology* 128 : 38-43, 2018
- 33) Yamamoto T, Schindler E : A new way to determine correct depth of central venous catheter insertion using a real-time ultrasound-guided insertion technique in pediatric patients. *Paediatr Anaesth* 29 : 368-376, 2019
- 34) Yamamoto T, Schindler E : Tips and tricks : Real-time ultrasound-guided left supraclavicular approach as a rapidly applied alternative venous access in paediatric difficult peripheral vein cases. *Eur J Anaesthesiol* 37 : 152-154, 2020
- 35) Stonelake PA, Bodenham AR : The carina as a radiological landmark for central venous catheter tip position. *Br J Anaesth* 96 : 335-340, 2006
- 36) Yoon SZ, Shin JH, Hahn S, et al. : Usefulness of the carina as a radiographic landmark for central venous catheter placement in paediatric patients. *Br J Anaesth* 95 : 514-517, 2005
- 37) Yoon SZ, Shin TJ, Kim HS, et al. : Depth of a central venous catheter tip : length of insertion guideline for

- pediatric patients. *Acta Anaesthesiol Scand* 50 : 355-357, 2006
- 38) Kim H, Jeong CH, Byon HJ, et al. : Predicting the optimal depth of left-sided central venous catheters in children. *Anaesthesia* 68 : 1033-1037, 2013
- 39) Lee JH, Byon HJ, Choi YH, et al. : Determination of the optimal depth of a left internal jugular venous catheter in infants : A prospective observational study. *Paediatr Anaesth* 27 : 1220-1226, 2017
- 40) Ryu HG, Bahk JH, Kim JT, et al. : Bedside prediction of the central venous catheter insertion depth. *Br J Anaesth* 98 : 225-227, 2007
- 41) Andropoulos DB, Stayer SA, Bent ST, et al. : A controlled study of transesophageal echocardiography to guide central venous catheter placement in congenital heart surgery patients. *Anesth Analg* 89 : 65-70, 1999
- 42) Park YH, Lee JH, Byon HJ, et al. : Transthoracic echocardiographic guidance for obtaining an optimal insertion length of internal jugular venous catheters in infants. *Paediatr Anaesth* 24 : 927-932, 2014
- 43) Pittiruti M, La Greca A, Scoppettuolo G : The electrocardiographic method for positioning the tip of central venous catheters. *J Vasc Access* 12 : 280-291, 2011
- 44) Rossetti F, Pittiruti M, Lamperti M, et al. : The intracavitary ECG method for positioning the tip of central venous access devices in pediatric patients : results of an Italian multicenter study. *J Vasc Access* 16 : 137-143, 2015
- 45) Shah PN, Kane D, Appukutty J : Depth of central venous catheterization by intracardiac electrocardiogram in adults. *Anesth Pain Med* 2 : 111-114, 2013

Ultrasound-Guided Central Venous Access in Pediatric Patients

Tomohiro YAMAMOTO

Division of Anesthesiology, Niigata University Graduate School of Medical and Dental Sciences

In this article, we extensively discuss the usage of central venous catheters (CVCs), CVC-related complications and risks, criteria for CVC thickness, multiple approaches of real-time ultrasound-guided CVC puncture techniques, determination of ideal CVC insertion lengths, and the peripherally inserted central catheter insertion method. It is important to understand the characteristics of ultrasound to be able to perform real-time ultrasound-guided CVC insertion more accurately and safely and to learn approaches other than the ones with which the attending anesthesiologist is familiar. Understanding the condition of the target vessel during the pre-scan procedure and ability to switch to another approach if necessary are crucial for better management in each case.

Key Words : Central venous approach, Real-time ultrasound-guided technique, Central venous catheter-related complications, Characteristics of ultrasound, Pitfalls