

実践 VExUS

〈静脈うっ血を見抜き治療につなげる超音波評価〉



ひたちなか総合病院総合内科主任医長/救急センター長

柴崎俊一

2010年、筑波大学医学類を卒業。諏訪中央病院にて初期・後期研修を修了後、名古屋第二赤十字病院(腎臓内科)での研鑽などを経て、2017年より現職。腎臓が得意な総合内科医として働きつつ、地域ニーズから、救急部門をひたちなか総合病院にて立ち上げた。現在も、ひたちなかで地域医療の推進に取り組んでいる。腎臓・輸液領域を中心に論文・書籍・セミナーを多数手がける。著書に『輸液プラクシス 輸液ど真ん中』(シチズンシップ, 2024年)などがある。X (@sn1shibazaki)にて医療情報の発信も行っている。

1 はじめに	p02
2 歴史を紐解くことで、視座を高める	p03
3 うっ血とは何か	p05
4 VExUSの基本コンセプトをまず押さえる	p08
5 実際に、VExUSを測定してみる	p09
6 VExUSだけで終わらない、心臓周囲のPOCUSも	p25
7 Caseで実践するVExUS	p36
8 VExUSの現時点でのエビデンスと限界	p39
9 Beyond VExUS～VExUS原法を超えて	p40

アイコン説明

- 注意事項/課題・問題点
- 補足的事項/エッセンス
- お役立ち/スキルアップ
- 関連情報へのリンク

HTML版

スマホでも読みやすいブラウザ表示です。本コンテンツ購入後、無料会員登録することでご利用いただけます。

無料会員登録

無料会員登録の手順の解説です。

オリジナルコンテンツ

日本医事新報社のオリジナルWebコンテンツや関連書籍を検索できます。

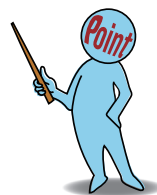
ご利用にあたって

本コンテンツに記載されている事項に関しては、発行時点における最新の情報に基づき、正確を期するよう、著者・出版社は最善の努力を払っております。しかし、医学・医療は日進月歩であり、記載された内容が正確かつ完全であると保証するものではありません。したがって、実際、診断・治療等を行うにあたっては、読者ご自身で細心の注意を払われるようお願いいたします。

本コンテンツに記載されている事項が、その後の医学・医療の進歩により本コンテンツ発行後に変更された場合、その診断法・治療法・医薬品・検査法・疾患への適応等による不測の事故に対して、著者ならびに出版社は、その責を負いかねますのでご了承下さい。

私が伝えたいこと

- VExUSは「体うっ血」を半定量的に評価するツールであり、体液過多を示すものでも、輸液反応性を判断するものでもない。この本質を正しく理解することが、VExUSを臨床で活かす第一歩である。
- VExUSが示すうっ血が「容量負荷」によるものか「圧負荷」によるものかは、VExUS単独では判断できない。病歴・身体所見・心肺POCUSとの統合なしに、VExUSスコアだけで治療方針を決めることは危険である。
- VExUSは難しい検査ではない。測定の基本を押さえ、ドプラスケールやスイープ速度の調整といった実践的なコツを身につければ、現場で十分に使いこなせる。
- VExUSはまだ発展途上のツールであり、過信は禁物だ。しかし正しく使えば、AKIの原因診断から治療効果のモニタリング、さらには右心系疾患の診断補助まで、臨床の幅を大きく広げる強力な武器になる。



1 はじめに

本誌を手にとった読者は、きっとVExUS (Venous Excess Ultrasound) に何か「刺さる」ものを感じているはずだ。「ヴェクサス」という中二心をくすぐるキャッチーな響きも手伝って、VExUSはとても話題になりやすい。実際2年前には、周りで「VExUS」の話をして、ほとんどの人が興味を持ってくれなかった。しかし、この1年で「VExUS、知っています」「VExUSのやり方を知りたいので、教えてもらえますか？」という反応がだいぶ増えた。VExUS愛好家である筆者にとって、これは大変うれしいことである。

一方で、有名になったからこそ、VExUSが独り歩きし、過度な期待や一部の誤解が生まれているようにも感じる。たとえば、VExUSは既存の身体所見をすべて代替するようなものではない。また、VExUSは右心系の静脈うっ血、つまり、体うっ血を半定量的に評価したものだ。後述するが、このうっ血は必ずしも「容量が多い」ことを意味しない。もちろん輸液過多を含む容量負荷 (volume overload) によって体うっ血が出ている場合もある。しかし、肺実質や肺動脈の問題による肺高血圧が原因の圧負荷 (pressure overload) の場合もある。

もう少し平たく言えば、VExUSは体液過多を示すツールではない。体うっ血を示すツールだ。VExUSは体うっ血があることを教えてくれても、それが容量負荷によるものなのか圧負荷によるものなのかは直接的には教えてくれない。これまでの治療経過を含む病歴や他のエコー所見、検査値と統合して初めて判断に役立つ。VExUS単独では限界があるのだ。本稿ではこういったVExUSの誤解やピットフォールも紹介していきたい。

VExUSを聞いたことがあって「始めてみたい」という初学者にも、少しずつ始めたが悩みながら行っている中級者にも、実践でどう応用し、忙しい現場でどう効率よく意思決定に活かすかなどに興味を持ちはじめた上級者にも、それぞれに新しい発見があるような内容となるよう心がけた。読者の皆さんの明日の臨床に役立てば幸いである。

2 歴史を紐解くことで、視座を高める

集中治療の循環管理の歴史は長い。特にこれまでの考え方は、平均動脈圧 (mean arterial pressure : MAP) や心拍出量 (cardiac output : CO) といった、心臓からの前方拍出をどう改善、維持するかという発想が中心であった。その好例が、輸液反応性という概念だ。輸液反応性とは、「輸液を投与すれば、COが増加しそうかどうか」を事前に予測する概念¹⁾であり、集中治療領域の輸液管理で基本の考え方になっている。この輸液反応性が注目されるようになった歴史的な経緯が興味深い。というのも、この輸液反応性という概念は、過剰な輸液に対するアンチテーゼとして出たものだったからである。

筆者が思うに、輸液を積極的に行おうというトレンドの始まりは、Surviving Sepsis Campaign (SSC) ガイドラインの初期版が出た2000年前後のように思う。それまでは、各医師が具体的な指標なく敗血症管理をしていたが、2001年にRiversらがEarly Goal-Directed Therapy (EGDT) と称して、治療開始から最初の6時間以内に中心静脈圧 (central venous pressure : CVP) が8~12mmHg, MAPが65mmHg以上、尿量が0.5mL/kg/hr以上、中心静脈酸素飽和度 (central venous oxygen saturation : ScvO₂) が70%以上となるように、輸液、昇圧薬、輸血を使うように提唱した²⁾。「目標値を定め、それを短時間で達成する」というEGDTというコンセプトは広く受け入れられ、大きな熱狂を巻き起こした。実際、筆者が研修医の頃、複数の上級医が口をそろえてEGDTを熱く語っていた。「流行はまさにEGDTだ」と。しかし、後の大規模RCT (ProCESS³⁾, ARISE⁴⁾) では、厳格なEGDTプロトコルが通常ケアと比較して死亡率を有意に低下させないことが示され、その流行は終焉した。

生理学的根拠をもとに立案されたEGDTは、なぜ有効ではなかったのだろうか。その批判のひとつは過剰な輸液である。特に、CVPをもとに輸液を行うことに疑問が持たれた⁵⁾。このような経緯から、過剰な輸液を避け、COを改善する指標がないか模索されるようになり、輸液反応性の概念が開いた。現在、輸液反応性の判断にはCVPなどの静的指標は不適切とされ、代わりに数値の変化量を指標にする動的指標が重要視されている。受動的下肢挙上テスト (passive leg raise test : PLR) や、1回拍出量

4 VExUSの基本コンセプトをまず押さえる

さて、うっ血の知識を整理したところで、VExUSについて触れていこう。改めて、VExUSは、体うっ血を半定量的に評価する、point-of-care ultrasound (POCUS)の一種である。具体的には、下大静脈(inferior vena cava: IVC)径と臓器側の3種類の静脈、肝静脈(hepatic vein: HV)、門脈(portal vein: PV)、腎内静脈(intrarenal vein: IRV)の複数を組み合わせ、総合的にうっ血の程度を評価するものである⁹⁾。このVExUSを最初に提唱した原法の狙いはシンプルだ。IVC径単独ではうっ血を正しく評価しきれない、だから、複数の項目で総合判断しようというものだ。考えてみれば当たり前で、循環や血行動態は単一の指標では判断ができない。心不全の診断では、決してBNPだけで診断するのではなく、複数の徴候や検査所見、エコー所見を組み合わせる総合判断で診断する、ということと同じである。

では、VExUSの具体的なポイントを、Step別に見ていこう。

Step1: まずはIVC径をチェックする。IVC径が2cm以上の場合、次のStepに進む。

Step2: HVをドプラで評価する。

Step3: PVをドプラで評価する。

Step4: IRVをドプラで評価する。

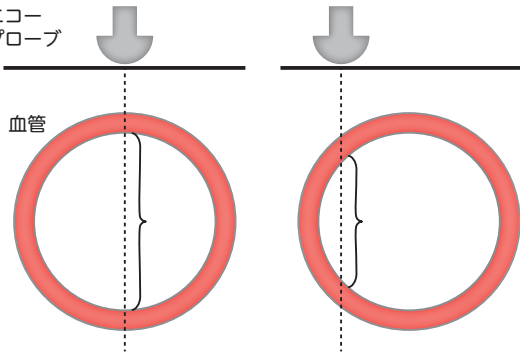
Step5: Step1~4を合わせて、うっ血の程度をグレードわけする。

上記の通り、VExUSの原法では、大きく2段階にわかれる。まず、IVC径でふるいわけ。ここで、IVC径から体うっ血の可能性があれば、さらに以後のStepを進めていくという2段階だ。逆に、IVC径から体うっ血がほぼ否定的であれば、原法では次のStepに進まずに、IVC径の測定のみで終了である。VExUSは複数の項目を測定するからこそ、体うっ血の判断の精度は上がる反面、時間を要してしまう。忙しい臨床現場だからこそ、「疑わしくなければ、無理にVExUSを完遂しない」という原法は、きわめて実地に即していると言えよう。

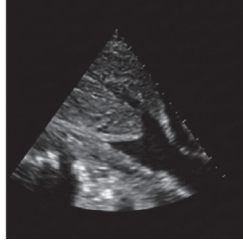
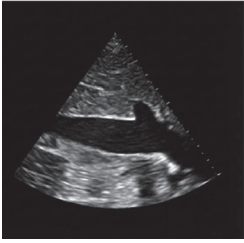
ただし、このIVC径でのふるいわけには、ピットフォールも存在する。たとえば、IVC径のカットオフ値を2cmとしている欧米での基準を、そのまま日本人に当てはめてよいかという議論だ。実際、VExUSでの検証ではないのだが、日本人でRAPとIVC径の関係を体表面積で評価した研究によると、体表面積が大きい大柄な患者なら、日本人でもIVC径は21mmをカットオフ値にすることが妥当で、体表面積が小さい小柄な患者なら、IVC径は17mmが妥当だと報告している¹¹⁾。また、ほかにも腹腔内圧上昇ではRAPが高値でも、IVCが虚脱しうるなどのピットフォールや、IVC径はシリンダー効果で過小評価されやすいなどのピットフォールも知られ

図6 シリンダー効果のイメージ

エコー
プローブ



中心からずれて
測定すると、
IVC径を過小評価
してしまう
(シリンダー効果)



短軸で中心を確認してからの
長軸像

中心がずれた状態での長軸像

(NEPHROPOCUS: Pitfalls of inferior vena cava
M-mode. 2020. より筆者作成)



ている(図6)¹²⁾。

これらのピットフォールから、私的な診療ではあるが、Step1をアレンジし、IVC径が2cm未満でも小柄な体型の患者の場合、IVCが短軸で円形に近い場合、臨床的に体うっ血を強く疑っている場合には、次のStepに進んでVExUSのトータル評価を行うようにしている。IVCの短軸の話は後述する。

なお、体うっ血と肺うっ血は必ずしも一致しないため、先述の通り、この2者をわけて評価すると意思決定がしやすくなる。心エコーでは僧帽弁流入波形(E/A)や組織ドプラe'を用いたE/e'などを指標にする¹³⁾。

ほかにも、肺エコーもきわめて役立つ。肺エコーでは、複数箇所Bラインが認められることを指標に評価する¹⁴⁾。

これら肺うっ血のPOCUS評価は、VExUSの実践できわめて重要なため、別の章で詳細を述べる。

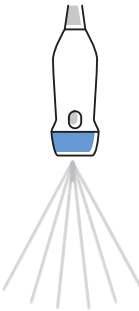
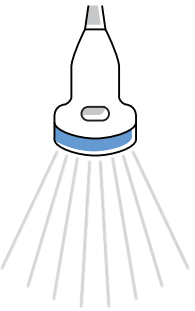
5 実際に、VExUSを測定してみる

ここからは、VExUSの測定の詳細を見ていこう。というのも、VExUSの測定にはドプラを使うため、初学者は技術的な誤りを犯しやすい。誤りや

すい点についても適宜補足しながら、その技術的なところを紹介したい。
 まずは、VExUSを行うべき状況、いわゆる適応についてだ。繰り返すが、VExUSは体うっ血を評価するためのツールである。そのため、VExUSを適用するのは「体うっ血が疑われるとき」である。もう少し具体的に述べると、輸液過多を含む体液過多疑い、心不全、心原性ショックや閉塞性ショック、血行動態が原因と推定される急性腎障害(Hemodynamic AKI)がその好例である。VExUSが適用される診療環境も幅広く、集中治療室のほか、一般病棟や透析室でも使う。

VExUSを実際に行うには、Bモード画像が表示でき、かつ、ドプラ機能を備えた超音波装置が必要だ。また、プローブは、セクタ型とコンベックス型の両方があることが望ましい(図7)¹²⁾。

図7 プローブの種類とその特徴

	セクタ型	コンベックス型
プローブの種類		
特徴	狭い場所でも描出できる 深い部位ほど視野広めに	接地面が広く視野・深さの バランスがよい
主な検査対象	心臓、肺 (設定を調整することで脳血流も)	腹部、肺 など

なお、こう表現すると、何か特殊なエコー機器が必要だと誤解してしまうかもしれない。が、決してそんなことはない。これらのエコー機器は、急性期病院で使われるエコーなら最初から付属していることがほとんどである。実際、筆者が所属するひたちなか総合病院の病棟に置いているほとんどのエコーでVExUSを行うことができ、携帯型エコーでもVExUSを行うことができる。ただし、機種や設定条件によっては波形の見え方が変化することがあるため、評価時には留意する必要がある。また、画像品質の問題が生じるため、なるべく高性能のものが望ましい。さらに、携帯型の場合は、後述するような心電図(electrocardiogram: ECG)を同時表示してのHV波形の解釈ができなくなるため、解釈を誤るリスクがある。これらの欠点を理解した上で活用することが望ましいだろう。

検査の実際を紹介しよう。患者の体位は仰臥位が一般的だ。患者の状態・重症度によっては、ベッドアップや半坐位で行うこともあるだろうが、その際には、血行動態が変化しうるので、必ずカルテに条件を明記する。VExUSはPOCUSの一種ということもあり、経時的な変化を追っていく

7 Caseで実践するVExUS

ここまでの知見をもとに、どう実践するかをCaseを通してご紹介したい。なお、以下のCaseは、実際に筆者が経験したケースをもとに、VExUSの解釈で変化が出ない範囲で、アレンジしたものであることをご容赦頂きたい。

Case

62歳男性、頸髄損傷後で寝たきりの方が、呼吸不全で搬送された。診察の結果、重症肺炎と診断した。頸髄損傷によりもともと肺泡低換気だったところに、呼吸不全での呼吸筋疲労が重なり、重度のII型呼吸不全を呈した。ERでCO₂ナルコーシスを起こし、意識障害が悪化した。CO₂ナルコーシスによるアシデミアと、重症肺炎による敗血症も重なり、ショック状態に至った。大量輸液、カテコラミン、緊急気管挿管などを要した。

挿管翌日の時点で、意識は鎮静下(RASS-3)で、橈骨動脈に挿入したAラインでの動脈圧は92/57mmHg、MAPは68mmHgであった。心拍数は100回/分。A/C(アシストコントロール)モードのプレッシャーコントロールを使用し、吸気圧12cmH₂O、PEEP 5cmH₂O、FiO₂ 30%で、呼吸数20回/分、SpO₂ 99%であった。注目すべきは身体所見で、外頸静脈の怒張と全身の著明な浮腫が目立っていた。体重はベースから5.2kgの増加で、約8%の体重増加だった。少なくとも、毛細血管再充満時間(capillary refill time: CRT)は3秒未満で、四肢の末梢循環不全は目立ってはいなかった。

主要な検査結果は以下の通りであった(表1)。

検査所見ではBUNや尿酸の上昇を伴うAKIで、Hemodynamic AKIを

表1 Caseでの主な検査結果とその変化

【10日前の検査所見】	【挿管翌日の検査所見】
生化学	生化学
Alb 2.5g/dL	Alb 2.1g/dL
ALT 4U/L	ALT 1U/L
LD 187U/L	LD 441U/L
BUN 7.8mg/dL	BUN 70.9mg/dL
Cre 0.36mg/dL	Cre 4.22mg/dL
UA 2.0mg/dL	UA 10.9mg/dL
Na 137mEq/L	Na 152mEq/L
K 4.4mEq/L	K 3.2mEq/L
Cl 95mEq/L	Cl 108mEq/L

除水する。一方、DW微調整においては、VExUSは効果的ではなさそうなので、hANPの値を中心に判断するようにしている。

以上のように、VExUSはまだ発展途上なこともあり、知見が不十分な領域が多く、また、すべての領域で効果的な魔法のツールというわけでもなさそうである。現時点で筆者は、①心不全患者や低心機能患者の循環管理、②AKIの原因がうっ血腎かどうかの判断、③既に輸液を一定以上行った患者における輸液耐性があるかどうかの判断、④敗血症性ショック患者の輸液のDe-escalation期で利尿がつかないときに利尿薬を使うかどうかの判断補助、などに限定してVExUSを使っている。

9 Beyond VExUS～VExUS原法を超えて

前章では、VExUSの現時点でのエビデンスと限界について紹介した。最後に、今後のVExUSの可能性について、初学者向け、中級者向け、上級者向けにそれぞれ紹介したい。この章を読んで頂ければ、今後のVExUSの発展・可能性に胸躍ることだろう。

1 初学者向け：IRVを測定しないmodified VExUS (mVExUS)の可能性

初学者がVExUSを実施しようとする際、前半でつまづきやすいポイントとして、IRVのドプラ計測ができないことがあるだろう。実際、IRVはHVやPVに比べて技術的に難しく、息止めができない・指示に従えない患者では、測定困難になりやすい。何より、筆者自身も今なおIRVを測定できないことが一定頻度ある。

そこで登場するのが、IRVを測定せず、HVとPVだけで体うっ血を評価するmodified VExUS (mVExUS)だ³¹⁾。急性心不全患者(左室駆出率<50%)に対し、入院24時間以内と72時間後にmVExUSを施行したところ、mVExUSのスコアが改善した患者では尿量増加、体重減少、血清Cre値低下、臨床的うっ血スコアの改善が認められ、院内死亡率が有意に低下したという報告が2025年に出ている。mVExUSは報告がきわめて少なく、また、心不全領域限定の話であるため、不確実さは残る。ただ、これらの限界を知った上で、IRVの測定が難しければ、HVとPVに限定したmVExUSで判断するという選択肢が今後出てくるだろう。実際、筆者はIRVが測定できなかったとき、かつ、時間がなくて、後述のextended VExUS (eVExUS)で他の部位の測定まで手が回らないときには、mVExUSで体うっ血を判断するようにしている。少なくとも、IVC単独での判断よりは、HVやPVを加えて総合判断したほうがよいだろうとい