

表 題 急性期診療における腹部 point-of-care ultrasound の
現状分析と今後の利用

論 文 の 区 分 論文博士

著 者 名 亀田 徹

所 属 安曇野赤十字病院 救急科

2017年 8月 15日申請の学位論文

紹 介 教 員 地域医療学系 専攻 病態検査学
職名・氏名 教授 谷口 信行

目次

I. 背景と目的	2
II. POCUS (point-of-care ultrasound) という概念	3
III. POCUS に関する臨床研究のアプローチ	4
IV. 急性期診療における腹部 POCUS の臨床研究と知見	5
1. 胆石・胆嚢炎	6
2. 腹部大動脈瘤	7
3. 急性虫垂炎	7
4. 腸閉塞	8
5. 子宮付属器疾患	8
6. 尿管結石	11
7. Focused assessment with sonography for trauma (FAST)	14
8. 直腸診併用による経腹超音波ガイド下尿道カテーテル挿入	14
V. 考察 —POCUS の現状分析と推進の可能性	16
VI. 腹部 POCUS 推進の課題	18
VII. 結語	19
引用文献	21

I. 背景と目的

超音波検査が臨床現場に本格的に導入されてから半世紀近くが経過する。その間に画像診断や臓器別の専門家により精力的に臨床研究が行われ、超音波に関連する多くの手法が開発された。現在は領域・臓器別に系統的超音波検査法が確立し、超音波を専門にする医師や検査技師により検査室から質の高い超音波検査が提供されている。

その一方で、超音波検査はベッドサイドで診療を行う臨床医によっても施行されているが、その検査は一定の指針に基づくものでなく、各臨床医の裁量に委ねられている[1]。また本邦では、卒前・卒後を含めた系統的な超音波医学教育も一部の教育機関や一医療機関に限られている。その結果、超音波検査を施行する者の能力差が大きく、一定の質が確保されているとはいえないことから、チーム医療の中で情報の共有が難しく、画像診断として相応な評価が得られにくいのが現状と考えられる。

近年超音波装置の小型化と高性能化が進み、超音波検査は臨床医にとってより身近な存在になった。その結果、従来超音波検査を専門にしない臨床医が、ベッドサイドでどのように超音波検査を施行し診療に組み込むかについて関心が集まり、このテーマに沿って数多くの臨床研究が主に欧米諸国で行われ、その有効性や実効性が明らかになってきた。そして臨床医がベッドサイドで診療の一環として行う超音波検査は point-of-care ultrasound (POCUS) と呼ばれるようになった[1-3]。さらに欧米では POCUS に関するガイドラインの整備、教育システムの構築が積極的に進められている[2,4-6]。本邦でも、最近 POCUS という概念は認知されるようになってきたが、共通の教育システムや認証制度は整備されておらず、そのあり方について検討されている段階である。

POCUS では全身が観察の対象とされ、解剖学的・生理学的評価だけでなく、超音波ガイド下手技としても利用されている[1]。また将来 POCUS は聴診器のようにすべての医師の基本的なスキルと位置付けられることが想定されている[7]。それゆえこの領域についての臨床研究や現状を分析し、関連する研究を行うことは、今後の超音波検査の診療への貢献を考えると意義有ることと考えられる。この研究論文では、まず POCUS の概念を提示する。次に急性期診療における腹部 POCUS に関連する臨床研究を概観し、その中で我々が得た研究成果について報告する。その上で腹部 POCUS を中心に臨床研究推進の可能性と課題を整理し、今後の方向性を示したい。

II. POCUS という概念

系統的超音波検査は画像診断・検査の専門家によって行われることが多いが、POCUS はベッドサイドで診療の一環として臨床医により施行される。また POCUS は、臨床の限られた時間の中で、短時間に必要な情報を得るために施行されるが、その際診断推論から導き出された鑑別診断に基づいて観察部位・項目が絞られる[8]。さらに系統的超音波検査では詳細な計測による定量化が行われるが、POCUS では目測による定性的、半定量的評価が行われることが一般的である[9]。さらに POCUS は、超音波を専門としない臨床医でも、一定の訓練であるレベルまで習得可能で、日常診療でスキルの維持が可能な枠組みが求められる[2,4,9]。【表 1】は検査室で行われる系統的超音波検査と POCUS を比較したものである。なお、救急外来や病棟でも検査室と同様に、超音波の専門家や検査技師によって系統的超音波検査が行われることは珍しくはないが、時間的・空間的制約からベッドサイドで診療を行う臨床医からの要望に常に応えられる訳ではない。

POCUS の用途、施行場所は多岐にわたる。用途としては、画像診断の位置づけで全身の解剖学的異常の評価に用いられるが、血行動態など生理学的評価としても有用である。また従来の画像診断という枠組みにとらわれず、治療方針決定のための利用として心肺蘇生の一環、緊急度や重症度の評価、身体所見の正しさを確かめる手段、経過観察やモニタリングとして利用される。なお、施行場所としては、院内の救急外来や集中治療室を含む急性期部門、一般外来や病棟、診療所だけではなく、病院前救急や災害現場、在宅医療でも利用されうる[1]。

系統的超音波検査	POCUS
超音波の専門家	ベッドサイドの臨床医
依頼内容に沿って	病歴・身体所見に基づいて
系統的・包括的に	焦点を絞って
詳細計測による定量的評価	目測中心、簡便な計測
1 日に 1 回が限度	1 日に何回も施行可能
習得に相当な修練	一定の教育で習得可能 日常診療でスキル維持

表 1. 系統的超音波検査と POCUS の比較.

Ⅲ. POCUS に関する臨床研究のアプローチ

POCUS の多くは系統的超音波検査に包含されるも、その中で検査の効率化、妥当性を考慮し、「抽出」、「創出」、「統合」というアプローチで臨床研究が行われてきた[1]。「抽出」とは、系統的超音波検査の各項目の中から、有用度・緊急度が高く、検査の難易度が高くない POCUS に適した有効な項目が選出されたことを意味する【図1】[1]。例えば循環器領域では、系統的な心臓超音波検査や下肢静脈超音波検査から POCUS に適した観察部位や評価項目が抽出され、臨床研究としてその有用性や実行性が検討された後に、簡略化された手法が提言されている。「創出」とは、従来超音波検査室で着目されなかった領域・臓器の超音波所見、手技が新たに見出されたことを意味する[1]。例えば呼吸器領域では、従来行われてきた胸水や腫瘍性病変の評価に加え、気胸、肺水腫などの診断に有用な所見がベッドサイドで見出された[10]。「統合」とは、従来の系統的超音波検査における各領域・臓器にとらわれず、横断的に POCUS を駆使することを意味する[1]。例えば外傷初期診療や呼吸困難の原因検索として、領域横断的アプローチの有用性が検討され、一定の有用性が示されている[11-13]。

POCUS は救急や集中治療など急性期に領域横断的に診療を行う部門においてエビデンスの集積が進んでいる。次に我々の行った研究を含め、腹部領域の臨床研究と知見を述べる。

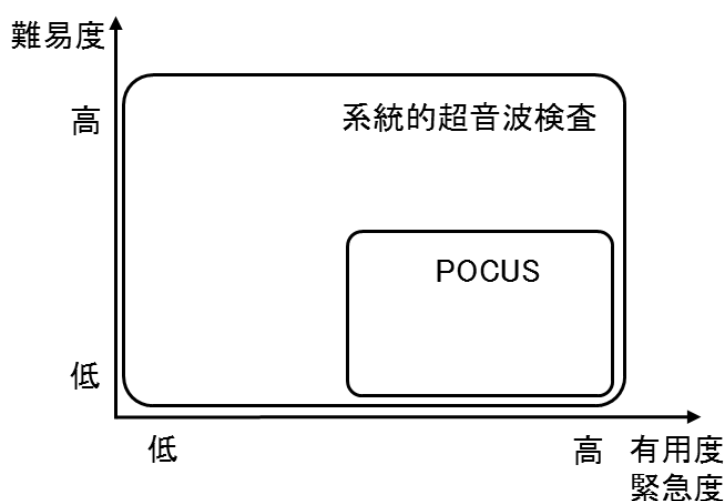


図1. 系統的超音波検査からの POCUS 項目の抽出。

IV. 急性期診療における腹部 POCUS の臨床研究と知見

腹部領域の POCUS では、適した臓器や観察項目が系統的腹部超音波検査の中から抽出され、その適応疾患が検討されてきた[14]。現在腹部領域の POCUS における主要な適応は、腹腔内出血、胆石・胆嚢炎、腹部大動脈瘤、尿管結石等に伴う水腎症等が挙げられ、今後消化管疾患や女性付属器疾患の評価・診断、各種超音波ガイド下手技についての利用も期待されている[14]。

超音波検査室では高性能な据え置き型超音波装置が利用されるが、POCUS ではラップトップ型など手で持ち運び可能な携帯型超音波装置が利用されることが多い。ここで、腹部領域における POCUS の有用性を検討する一環として、我々は携帯型装置を用いて救急室における POCUS の有用性を検討した。事前に臨床診断のついていない非外傷患者で、一定の超音波のトレーニングを受けた 1 名の救急医により病歴と身体所見が取得された後に、引き続き 2 種類の携帯型装置（重症 4kg, 2.6kg）を用いて腹部 POCUS が施行され、さらにその後単純 X 線を除く画像診断、内視鏡、手術いずれが施行された 144 例を対象とした。そのうち 116 例(81%)の超音波所見は、原発・主病変の部位については最終診断と一致し、携帯型装置を用いた POCUS は腹部の病変部位を特定するのに有用であることが明らかになった。【表 2】に携帯型装置で病変部位が正確に特定された割合を部位別に示す。その内、5 例以上あった病変部位について検討すると、胆嚢病変において病変部位が適切に指摘されたのは、10/10 例(100%)、肝外胆管 3/5 例(60%)、胃 6/10 例(60%)、空腸・回腸 8/8 例(100%)、虫垂 10/13 例(77%)、大腸 7/14 例(50%)、尿管 27/28 例(96%)、付属器 6/8 例(75%)、腹部大動脈 6/8 例(75%)であった。この研究では、救急外来で超音波検査が有用と考えられたあらゆる症例を対象に、携帯型超音波装置でどの程度病変部位を特定出来かについて検討したが、どの程度確定診断に至ったかについての詳細な検討は困難であった。その理由は、対象には確定診断を目的として腹部 POCUS を行った症例も含まれたが、そもそも病変部位の特定を目的として施行された症例が多いこと、また一般に超音波検査が確定診断に有用とされる疾患については症例数が十分ではなかったからである。さらに症例を集積して症候・疾患別に、携帯型装置を用いた腹部 POCUS の有用性について、確定診断を含めて検討することが課題として挙げた[15]。

次に臓器別の臨床研究について述べる。

Part		Final Diagnoses
Liver	1/1	Carcinoma 1/1
Gallbladder	10/10	Acute cholecystitis 6/6, Gallstone 4/4
Extrahaptic bile duct	3/5	Choledocholithiasis 2/4 (with cholangitis 1/1, pancreatitis 0/1), Cholangitis 1/1
Pancreas	1/1	Carcinoma 1/1
Stomach	6/10	Ulcer 1/5, Carcinoma 4/4, Perforated ulcer 1/1
Duodenum	1/3	Perforated ulcer 0/2, Duodenitis with jejunitis due to Henoch-Schönlein purpura 1/1
Jejunum, Ileum	8/8	Ileus or Obstruction 8/8
Appendix	10/13	Acute appendicitis 10/13 (with abscess 0/1)
Colon	7/14	Perforation 2/4, Ischemic colitis 2/4, Constipation 2/3, Carcinoma 0/2, Diverticulitis 1/1
Kidney	0/3	Pyelonephritis 0/2, Renal infarction 0/1
Ureter	27/28	Ureterolithiasis 27/28 (with pyelonephritis 1/1)
Urinary bladder	1/1	Hemorrhagic cystitis 1/1
Uterus	2/2	Myoma and adenomyosis 1/1, Pregnancy with endometritis 1/1
Adnexa	6/8	Ovarian hemorrhage 2/3, Ovarian tumor 2/2, Pyosalpinx 1/1, Torsion of ovarian tumor 1/1, Rupture of ovarian cyst 0/1
Abdominal aorta	6/8	Dissection 4/6, Rupture 2/2
Superior mesenteric artery	2/2	Thrombosis 1/1, Dissection 1/1
Thoracic cavity	1/1	Pyothorax 1/1
Other	1/1	Abdominal metastasis of lung cancer 1/1
Cases classified as "no lesion in any part"	23/25	No abnormality or unknown origin 14/14, Slight gastritis 3/4, Suspected diagnosis with no significant finding of imaging, endoscopy or surgery 4/5 (ureterolithiasis 1/1, ovulatory pain 2/2, adnexitis 0/1, pelvic inflammatory disease 1/1), Lesion beyond scope of the ultrasound 2/2 (esophageal perforation 1/1, sacral myelitis 1/1)

表 2. 携帯型超音波装置で病変部位が正確に特定された割合. 文献 15 より引用.

1. 胆石・胆嚢炎

外科医による POCUS を用いた胆石の診断能について 8 研究 1019 例を対象としたメタ解析によると, 感度 96%, 特異度 99%であった[16]. また救急医による胆石の診断について 8 研究 710 例を対象にしたメタ解析によると, 感度 89.8%, 特異度 88%, 陽性尤度比 7.5, 陰性尤度比 0.12 であった. この研究では, 病歴と身体所見から胆石発作の可能性が高く POCUS で胆石が見つかった場合, 診察中に症状が改善すれば, その後適切に外来フォローを行うことが可能とされている[17].

一方, 救急医による急性胆嚢炎の診断について, 164 例を対象とした前向き観察研究によると, 胆石および二次所見である sonographic Murphy's sign, 胆嚢周囲液体貯留, もしくは胆嚢壁肥厚がある場合を陽性とすれば, 感度 87% (95%信頼区間 66–97%), 特異度 82% (74–88%), 陽性的中率 44% (29–59%), 陰性的中率 97% (93–99%), 陽性尤度比 4.7 (3.2–6.9), 陰性尤度比 0.16 (0.06–0.46)であった. この研究によると, 救急医による診断精度は検査室と同様であり, 陰性的

中率が高く除外診断に有用であることが示唆された[18].

2. 腹部大動脈瘤

POCUS を用いた救急医による、破裂を含む症候性腹部大動脈瘤の診断について、7 研究 655 名を対象としたメタ解析によると、感度 99%(95%信頼区間, 96–100%), 特異度 98%(97–99%)と精度は非常に高いことが示されており、適切なトレーニングを受けていれば、POCUS のみで存在診断を行うことが可能である[19]. 特に腹部大動脈破裂で切迫した状況では、POCUS を用いて診療方針を決定する意義は十分にあると考えられる.

3. 急性虫垂炎

急性虫垂炎の診断において CT は超音波よりも精度が高いことが示されている. しかし若年者、やせ型の患者では超音波で良好な画像が得られやすく、また女性での放射線被ばくを減じるために、超音波を最初に実施することが推奨されている[20]. 急性虫垂炎において救急医が施行する POCUS の有用性に関する研究が行われ、感度 39–96%, 特異度 68–98%, 陽性的中率 75–96%, 陰性的中率 65–93%と報告によるばらつきが大きかった[21–26]. その中で高い感度を示した研究では、超音波施行者は事前に質の高いトレーニングを受けており、適切な教育・研修の必要性を示していた. なお、上記研究の中には、超音波を先行検査として行うことで救急室滞在時間を減じること、CT による放射線被ばくを減じる可能性を示したものがある[21–26].

我々も POCUS の研究として、4kg 程度と手で持ち運び可能な携帯型超音波装置による急性虫垂炎の診断に関する検討を行った. 救急室で診察により急性虫垂炎が疑われ、1 名の救急医によって POCUS が施行された 33 例中、後に腹部 CT もしくは手術が施行された 24 例を対象とした. 急性虫垂炎との最終診断が得られたのは 18 例であった. その感度は 78%, 陽性的中率は 100%であり、特に浅部に位置する虫垂の描出率は良好であった. 対象患者数は十分ではなく、また検者は 1 名なのでこの結果を一般化できないが、携帯型装置を用いた POCUS は急性虫垂炎の拾い上げに有用であった. 一方、陽性所見が得られなかった場合には、熟練者による高性能装置を用いた超音波検査か CT を選択すべきであった[27]. この研究の結果より、引き続きこの領域の

POCUS の有用性を検討する意義は十分にあると考えられた。

現時点ではPOCUSによる急性虫垂炎の診断は一般化していないが、今後は適切な教育により検者の技量の向上をはかるとともに、大規模前向き臨床研究による検討が期待される。

4. 腸閉塞

以前より腸閉塞の超音波診断の有用性は示されていたが[28]、実際の臨床では腹部X線やCTによる検査が主流で、超音波検査は腸閉塞の評価に積極的には利用されていない。一方、近年診察の一環として行われている POCUS を用いた腸閉塞の評価に関心が持たれるようになり、救急医による POCUS の有用性についての報告が散見される。Unlüer らによる 168 例の検討では、感度 97.7%(95%信頼区間 94.5–100%)、特異度 92.7%(87–98.3%)であり、放射線科部門で行われた超音波検査と精度に差は認められなかった[29]。また Jang らによる 76 例の検討では、感度 90.9%(95%信頼区間 74.5–97.6%)、特異度 83.7%(68.7–92.7%)であった[30]。上記 2 研究は、POCUS が X 線よりも腸閉塞の診断に有用であることを示している[30]。現時点では小規模な研究しか示されていないが、POCUS の普及が進めば、腸閉塞の評価において X 線との使い分けについて考慮されるべきと考えられる。

5. 子宮付属器疾患

1985 年から 1990 年にかけて経膈超音波の有用性が明らかにされて以来、経膈超音波検査は産婦人科で最初に行われる画像診断となっている。逆にそれ以降は、経膈超音波が主体となったため、子宮付属器疾患に対する経腹超音波の有用性についてほとんど検討が行われていない[31]。しかし、1990 年以前と異なり超音波装置の性能は格段に向上していること、また POCUS の普及に伴い下腹部痛に対して今後産婦人科以外の医師のもとで検査が行われる機会も増えることが予想され、子宮付属器疾患における経腹超音波の有用性を改めて検討する意義があると考えられる。

我々は POCUS の有用性を示す研究として、今後外来で多用されることが考えられる携帯型装置を用いて、子宮付属器疾患に対する経腹超音波の有用性を検討した。15–50 歳で下腹部痛を主訴

に救急室を受診し、1名の救急医によって経腹超音波が施行された46例中、救急室で確定診断がなされた、もしくは後に産婦人科や外科、泌尿器科などの専門外来を受診した32例を対象とした。32例中子宮付属器疾患は15例であった。婦人科手術は9例に行われたが、そのうち8例(89%)は超音波で子宮付属器病変、もしくは腹腔内出血を指摘できた。子宮付属器疾患に対する経腹超音波検査の感度は87%、特異度94%、正確度91%であった。この検討では、消化管ガスの影響が少なければ、携帯型装置を用いた経腹超音波で子宮付属器病変を描出するのはある程度可能なことが示された。もっとも対象患者数は少なく、検者は1名なので、この結果をすぐには一般化できない。また偽陰性の可能性は常に意識しなければならない[32]。

なお、経腹超音波による卵巣の評価にはその描出率の再検討が必要であるため、次のように超音波検査室で経腹超音波による正常卵巣の描出能と付属器疾患の除外診断の有用性について前向き観察研究を行った。下腹部痛の原因検索のために経腹超音波が施行された16歳以上の女性188例中、子宮付属器の評価が可能な画像診断(経腹超音波、CT、MRI)、外科的介入、経過観察、もしくはアンケート調査の回答があったのは158例であった。そのうち経腹超音波で子宮付属器に有意な所見を認めなかった135例を検討対象とした。なお正常卵巣の定義は、境界明瞭な楕円形で、卵胞や嚢胞を伴う場合にはそれらの長軸径は25mmを超えないものとした。子宮付属器疾患の定義は、腫瘍像、異常管腔像、長軸径25mmを超える嚢胞像で、子宮や消化管の一部として描出されないものとした。経腹超音波施行前に膀胱内尿貯留の指示は出さなかった。【図2】には経腹超音波で描出された正常卵巣の一例を提示する。【表3】に135例の最終診断を示す。135例中133例は子宮付属器疾患以外の診断名であった。残り2例は子宮付属器炎の診断名で、内診で子宮付属器に圧痛はあったが、経腹超音波では異常は指摘できなかった。【表4】に年齢層別の正常卵巣描出率と平均body mass index(BMI)を示す。135例の左右270卵巣の描出率は38.9%であった。16-45歳の74例、148卵巣の描出率は66.2%に対し、46歳以上の61例、122卵巣の描出率は5.7%であった($p<0.001$)。この研究では正常卵巣の描出が子宮付属器疾患の除外に役立つかについて、またBMIや膀胱内尿貯留量が正常卵巣描出率に与える影響について結論を見出すことができなかった。若い世代の患者で正常卵巣描出率が明らかに高かったのは、年長者よりも卵巣サイズが大きいこと、卵巣同定の指標となる卵胞が指摘しやすい点にあると考

えられた。この研究から得られた結論は、経腹超音波は下腹部痛を主訴とした若い世代の患者において、子宮付属器疾患の除外のために最初に行われるモダリティになることが示唆された[31]。

以上我々の行った2つの研究を通じ、一定のトレーニングを受けた臨床医が経腹超音波で子宮付属器の評価を行い、救急外来における子宮付属器疾患の診療の質を向上させるかについて、引き続き検討する意義があると考えられた。



図 2. 経腹超音波による正常右卵巣の描出と計測(矢印).
文献 54 より引用.

Locations	n	(%)	Final diagnoses
Genital system	8	(5.9)	Adnexitis (2), myoma uteri (2), perihepatitis associated with PID (1), cervical cancer (1), placental site trophoblastic tumor (1), first trimester pregnancy (1)
Gastrointestinal system	33	(24.4)	Appendicitis (16), colonic diverticulitis (6), enterocolitis (6), ischemic colitis (1), mesenteric adenitis (1), colonic carcinoma (1), intussusception with colonic carcinoma (1), constipation (1)
Urinary system	17	(12.6)	Urolithiasis (12), cystitis (4), pyelonephritis (1)
Abdominal vascular system	2	(1.5)	Aortic aneurysm (1), thrombosis of superior mesenteric artery (1)
Retroperitoneal space	1	(0.7)	Actinomycosis (1)
Unknown origin	74	(54.8)	Nonspecific abdominal pain (73), chronic pain of unknown origin (1)*

*Enhanced computed tomography did not show any abnormal findings related to lower abdominal pain.

PID = pelvic inflammatory disease

表 3. 135 例の病変部位と最終診断. 文献 31 より引用.

Age	N (patients)	Ovary visualized			Detection rate (%)		Mean BMIs (kg/m ²)
		Both (a)	Right or left (b)	Neither (c)	2a+b / 2(a+b+c)		
16-20	17	6	6	5	18/34	52.9%	20.5
21-25	13	9	2	2	20/26	76.9%	21.1
26-30	9	5	2	2	12/18	66.7%	22.2
31-35	12	10	1	1	21/24	87.5%	21.3
36-40	12	7	2	3	16/24	66.7%	20.9
41-45	11	4	3	4	11/22	50.0%	20.3
46-50	6	0	1	5	1/12	8.3%	25.9
51-55	6	0	0	6	0/12	0.0%	23.9
56-60	13	1	0	12	2/26	7.7%	22.6
61-	36	1	2	33	4/72	5.6%	21.8
	135	43	19	73	105/270	38.9%	21.7

TAUS = transabdominal ultrasonography; BMI = body mass index

表 4. 年齢層別の正常卵巣描出率と平均 body mass index (BMI). 文献 31 より引用.

6. 尿管結石

尿管結石は頻度の高い疾患で、精度の高い CT 検査による診断が主流となっているが、CT 検査が尿管結石の患者ケアを直接改善させるというエビデンスは現時点では明らかにされていない。また尿管結石は繰り返し評価が必要であり、また再発のリスクも高いため、放射線被ばくについて考慮されねばならない。

救急医らによる POCUS の水腎症の所見に基づいた尿管結石の診断について、CT 検査による診断を基準にすると、感度 73–87%, 特異度 73–83%, 陽性的中率 66–91%, 陰性的中率 65–86%と報告されている[33–36]。また救急医の中でもフェローシップとして超音波のトレーニングをさらに重ねると感度が上昇することが示されている[36]。一方、大規模多施設無作為臨床研究によると、救急室で尿管結石が疑われた 2,759 例を対象に、初期診断として①救急医の行う POCUS, ②放射線科部門での超音波検査, ③腹部 CT 検査を比較したところ、30 日後の評価では見逃しや有害事象などに差はなく、腹部 CT 群では 6 ヶ月後の累積放射線被ばくが高くなることが示された[37]。この研究により、CT 検査より診断精度は低いものの、POCUS を尿管結石の初期診断に利用する有用性が改めて示されたと言える。

超音波検査では水腎症だけではなく、尿管内の結石の同定も可能である。従来の超音波検査では尿管内の結石の検出率は 19–79%と報告されているが、POCUS では明らかにされていない。POCUS で結石そのものを同定できれば精度が高くなることが予測されるため、我々は POCUS による尿管結石の検出についての有効性を将来検討することを視野に入れ、その手始めとして検査

室で水腎症と尿管結石の検出率の関係について前向き観察研究を行った。15 歳以上で病歴と身体所見より尿管結石が疑われた連続 250 例中、泌尿器科医により尿管結石と最終診断された 214 例を対象にした。この研究では腎杯の拡張をもって水腎症と定義し、軽度腎盂離開のみで腎杯の拡張がない場合は水腎症としなかった。また尿管が管腔像として、その中に結石を示唆する高輝度陰影が明瞭に描出された場合に、尿管内に結石があると判断した。【図 3】に水腎症の程度と尿管結石の描出率を提示する。水腎症を認める 109 例中 80 例(73%)、水腎症を認めない 105 例中 46 例(44%)で結石は明瞭に同定された($p<0.05$)。また水腎症があり結石が明瞭に描出された 80 例中 31 例(39%)は膀胱尿管移行部に、51 例(64%)はそれより頭側に結石を認めたが、水腎症がなく結石が明瞭に描出された 46 例中 37 例(80%)は膀胱尿管移行部もしくは膀胱内に、9 例(20%)はそれより頭側に結石を認めた。水腎症があった方が、尿管の拡張および結石像は超音波で捉えやすくなり、結石描出率に差が生じた一因と考えられた。一方、尿がある程度貯留した膀胱を音響窓とすれば膀胱尿管移行部は同定しやすいので【図 4】、水腎症がない場合は、膀胱尿管移行部で結石が描出される割合が高くなったと考えられた。以上より、水腎症があれば尿管全体の観察を通じて結石の検出率が高まり、水腎症がなくても臨床的に尿路結石が疑われる場合は、少なくとも膀胱尿管移行部や膀胱内の結石の有無を評価する意義があることが示された[38]。今後は POCUS を用いて、水腎症の有無に応じた尿管内の結石の検出について検討する意義があると考えられた。

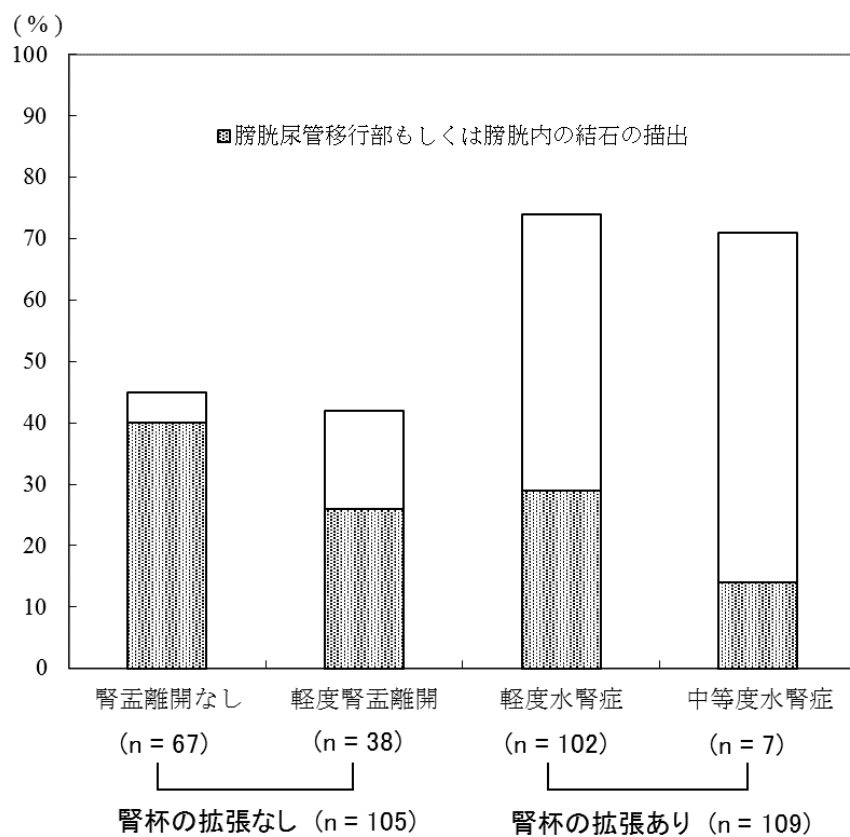


図 3. 水腎症の程度と尿管結石の描出率. 文献 38 より改変引用.

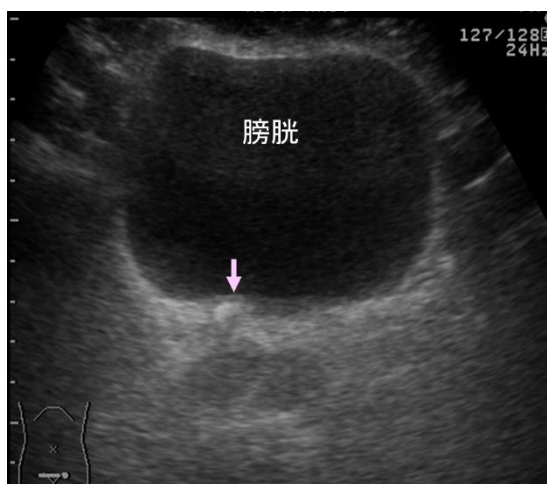


図 4. 右膀胱尿管移行部の結石像(矢印).

7. Focused assessment with sonography for trauma (FAST)

外傷初期診療で行われる focused assessment with sonography for trauma (FAST) は、限られた時間内に、腹腔内出血、心タンポナーデ、血胸の評価を一度に行う手法で、腹部を含めた領域横断的活用の代表例である。FAST に関する臨床研究をまとめた総説によると、腹腔内出血の診断精度は、感度 28-98%、特異度 86-100%とばらつきはあるが[13]、外傷初期診療においては必須手技として十分な合意が得られている[39]。無作為比較試験によると、FASTを導入することで、受診から手術までの時間短縮、CT 施行数減少、入院期間短縮、合併症減少、コスト削減について有利に働くことが示されている[40]。特に重症外傷では予後改善のために一刻も早く診断と治療を行う必要があり、病院前救急の現場で携帯型装置による FAST の利用も進んでいる。医師もしくは救急救命士 (paramedic) による病院前救急における FAST は、身体所見よりも明らかに特異度が高いことが示されている[41]。

8. 直腸診併用による経腹超音波ガイド下尿道カテーテル挿入

ここでは POCUS の治療手技への利用のひとつとして直腸診併用による経腹超音波ガイド下尿道カテーテル挿入について述べる。急性期診療では尿道カテーテル挿入に難渋することは珍しくない。尿道カテーテル挿入困難は男性に多く、その原因には前立腺肥大などによる尿道の走行変化、頻回のカテーテル挿入による偽尿道の形成、尿道狭窄などがある。挿入が容易ではなく、盲目的に繰り返し挿入を試みると尿道出血や損傷の原因となり、緊急で泌尿器科医へのコンサルトが必要になる[42]。我々は、尿道の走行が原因と考えられる尿道カテーテル挿入困難例に対し、直腸診を併用した経腹超音波ガイド下尿道カテーテル挿入法を提案し、パイロット試験を行った。この手法は、特別な器具を使用することがないため、泌尿器科医以外の臨床医でも安全に施行可能と考えられる。対象は、救急室で通常の尿道留置カテーテル挿入が困難、もしくは他施設でカテーテル挿入が困難で尿道出血をきたし転院搬送となった成人男性患者とした。その中で、カテーテル挿入長からの推測で、先端が後部・球部尿道付近で進まないと推測される症例を最終選択した。最初に看護師がつかえるところまでカテーテルを挿入した【図 5 a, b】。次に救急医が経腹超音波でカテーテル先端部の同定を試みた。もし先端部が同定されれば、救急医は超音波プローブ

を片手で保持しながら、もう一方の手で直腸診を行いカテーテル先端部がつかえている部分を指先で腹側に圧迫した【図 5 c】。その状態で看護師によるカテーテルの再挿入を試みた。6 例中 4 例で経腹超音波によりカテーテル先端部が同定された。うち 3 例では直腸診による腹側への圧迫により尿道の走行が緩やかになり、また 1 例ではカテーテルがつかえる原因となっていた偽尿道が圧迫されることで、いずれもカテーテル先端部が抵抗なく膀胱に挿入された。この 4 例中 3 例は過去に尿道カテーテル挿入困難で泌尿器科の介入が行われた既往があった。2 例ではカテーテル先端部を同定できなかったが、1 例は不穏で体動が激しく超音波による評価そのものが困難であり、残り 1 例は膀胱が緊満して前立腺部が足側に圧排されて観察できなかった。【図 6 a, b】に実際の症例を提示する。このように一部の尿道カテーテル挿入困難患者に対してこの手技を用いれば、患者への負担を軽減し、安全に挿入されることが示唆された[42]。症例数が少なく、今後さらに検討を進めていく必要はあるが[42, 43], POCUS は診断としてのみでなく、治療手技の一助としての利用も期待できる。

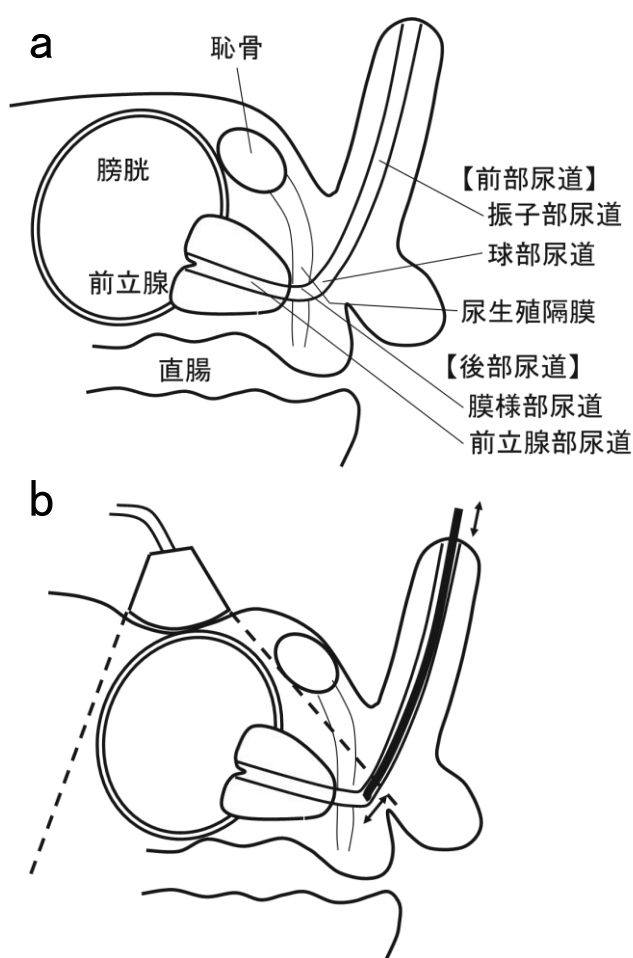
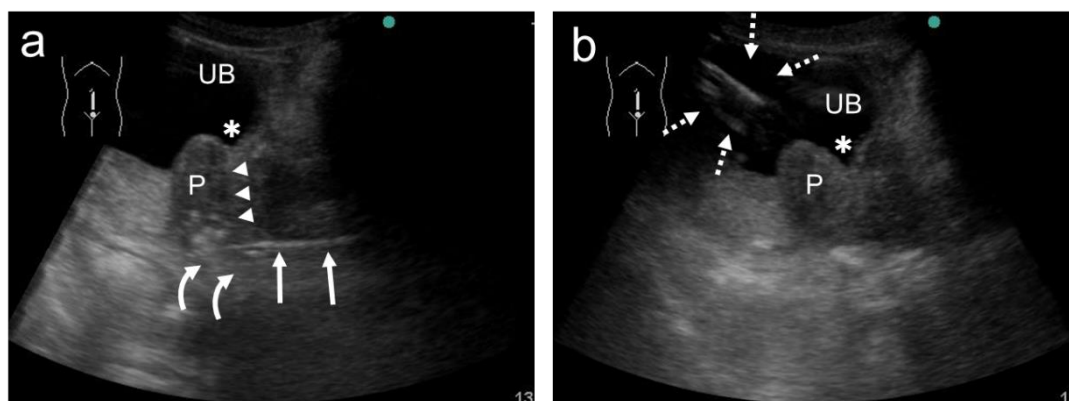


図 5. 尿路の解剖(a), カテーテルをつかえるところまで挿入(b), 直腸診による腹側への圧迫(c). 文献 43 より引用.



UB:膀胱, P:前立腺, 直線矢印:尿道カテーテル先端部, 矢頭:前立腺部尿道,
星印:内尿道口, 曲線矢印:直腸診による腹側への圧迫,
点線矢印:カテーテル先端部のバルーン

図 6. カテーテルの挿入. 超音波で観察すると球部尿道付近が直角に近い形で屈曲し、カテーテルの先端(矢印)がその位置から進まない様子が観察された(a). 同部位を直腸診で圧迫すると尿道の走行が緩やかになり、先端部を膀胱内に進めることができた(b). 文献 43 より引用.

V. 考察 —POCUS の現状分析と推進の可能性—

腹部 POCUS に関する臨床研究について概観し、腹部領域の臨床研究の結果を含め検討を行った。胆石・胆嚢炎、腹部大動脈瘤、急性虫垂炎、腸閉塞、子宮付属器疾患、尿管結石では系統的超音波検査から「抽出」され、FAST では「抽出」及び領域横断的に「統合」され、直腸診併用による経腹超音波ガイド下尿道カテーテル挿入では手技が「創出」されたことになる。種々の研究・報告が示すように、超音波検査室における超音波の専門家の視点から、ベッドサイドにおける臨床医の視点に移動することで、超音波検査の新たな利用価値が明らかになってくる。

欧米では特に急性期診療を行う領域において POCUS への理解、臨床医への教育が進み、ベッドサイドで質の高い POCUS の臨床研究を行える素地が構築されている。一方本邦では、多くの施設において、初期臨床研修から専門研修にかけて系統的に超音波検査を学ぶ機会は限られている。また CT 全盛の時代にあって、腹部領域では CT と超音波検査との使い分けが十分に検討されておらず、特に急性期診療の現場では超音波検査の位置づけが見えにくい。また医療機関の

超音波検査の多くは検査室に依頼され、超音波検査の多くを技師が担うようになっている。その結果、POCUS という観点では、超音波の技量のある程度備えた複数の臨床医の確保、検査の質保証、質の高い臨床研究の計画は容易ではないのが現状である。我々の行った腹部領域の研究では、救急室では一定の技量を備えた複数の検者の確保が困難ゆえ、1名の救急医による検討にならざるを得なかった[15,27,32]。しかし、限界はあるものの、手で持ち運び可能な携帯型装置の有用性を示すことができ、ポケットエコーを含めた携帯型装置を用いた腹部領域の POCUS の臨床研究を推進する妥当性を示すことできたと考えられる。また今後 POCUS の研究につなげる一環として、技量を備えた複数の検者による前向き観察研究を検査室レベルで実施し、一定の成果を得ることができた[31,38]。

これまで述べてきたように、数多くの研究から腹部各領域の評価に POCUS が有用であることが明らかにされ、加えて超音波の汎用性から、全身の病態の評価に関する研究も進められている[3]。また POCUS の新たな活用として、院外での有用性に関する報告や研究も行われている[44-47]。例えば傷病発生現場、救急車やヘリコプター内など病院前救急でも積極的に利用され、その有用性が検討されている[44,45]。また震災など大規模災害現場での利用に関する報告も散見される[46,47]。一方、POCUS の長所を考えると今後本邦で積極的に推進される在宅医療での活用についても十分検討に値する。さらに、院外の現場と病院との間で画像転送をもとにコミュニケーションを行う tele-ultrasound の試みも行われている[48-50]。これは、基幹病院の専門家の指導により遠隔地にいる院外の検者が適切に超音波画像を描出し、そこから基幹病院に転送された画像をもとに専門家が診断を行う方法で、特に医療資源の乏しい遠隔地での超音波の活用法の一つとして期待されている。同様の手法は、基幹病院と診療所の間でも可能である。

また超音波装置の小型化と価格の低下により、超音波は「検査の一つ」から「診察の一部」としても位置付けられ、聴診器のようにすべての臨床医の基本的な手技に位置づけられることが想定されている[7]。超音波は体内の臓器を視覚的に捉えることができるので、ベッドサイドでは病歴と身体所見を補う強力な手段となりうる。将来は【図 7】のように POCUS は診察の一部となり、その上で必要な系統的超音波検査、他の検査、画像診断が行われることが一般的になると考えられる。

さらに、超音波は基本的な手技になることを前提に、欧米では POCUS の手法を用いた卒前教育に注目が集まっている。その中で POCUS は診察の一環として病歴と身体所見を補う手段としてだけでなく、解剖・生理学、身体所見を学習する手段としても期待されている[51-53]。従来は超音波検査を習得するために解剖・生理学を学習するのが通例であるが、卒前教育においては、解剖・生理学の学習を促進する手段として超音波を利用するというパラダイムシフトが起こっている[51]。特に解剖・生理を理解する上で、動的観察に優れた超音波の有用性は高い[54,55]。また肝臓の触診や心音の聴診などの身体所見を学習する際に、その場で超音波を用いてフィードバックを行えば、学習者の理解や満足度が向上し、学習効果が高まることが教育現場での実践を通じて示されている[51]。

臨床医や医学生だけではなく、看護師による POCUS の利用についても検討され、腹部領域では、腎の異常指摘[56]、膀胱内尿量評価[57]の有用性、臨床応用の可能性が示されている。特に本邦では認定・専門看護師制度においてその活用が期待される。また超音波検査士も、外来、病棟など検査室の外で効率よく超音波を行う上で POCUS のコンセプトは役立つものと考えられる[58]。

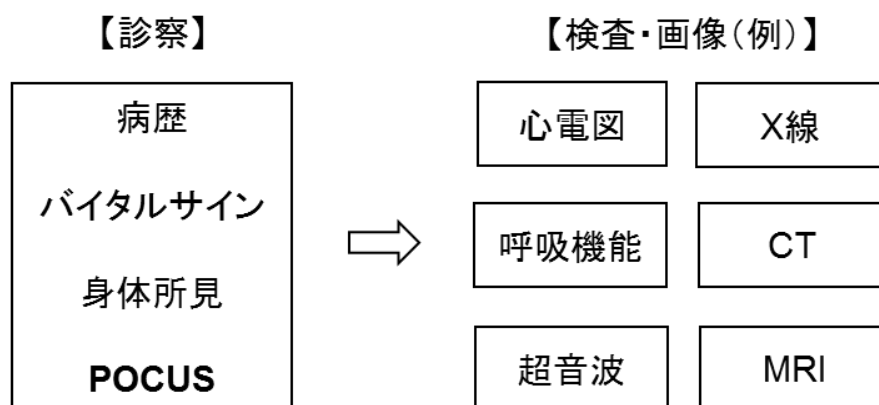


図 7. POCUS 導入による診療の流れ。

VI. 腹部領域の POCUS 推進の課題

これまでの研究を通じ、腹部領域の POCUS の利用方法は疾患ごとに異なることが想定される。疑陰性による見逃し、疑陽性による過剰な検査の増加については常に念頭に置かねばならない。

疾患特性を考慮し、POCUS を拾い上げとして、除外のために、もしくは他の臨床所見と併せて総合的に判断するために利用するかについて、引き続き疾患別に検討する必要があると考えられる。また他の画像診断や手技との使い分けについても検討する意義がある。上記課題を解決すべく、POCUS について質の高い臨床研究、エビデンスを本邦から発信してゆくためには、POCUS という概念の普及と、ベッドサイドで診療を行う臨床医による超音波検査の質向上が先決である。そのためには POCUS の標準化のために指針の設定や教育システムの構築が不可欠と考える。指針の設定にあたっては、現状で得られているエビデンスをもとに初期臨床研修医の到達目標、急性期診療・プライマリケアを支える臨床医が日々の診療で実際に活用できるレベルとしての minimum requirement を見定める必要がある。そして minimum requirement に沿って系統的に教育が行われ、超音波検査の基礎的な素養の獲得と、POCUS の技量の底上げが求められる。一定以上の技量をもった臨床医の養成を通じて、ベッドサイドにおける質の高い POCUS の臨床研究も可能となる。

またこれまでの POCUS に関する研究は診断精度の検討が中心であった。尿管結石の評価や FAST では患者ケアの向上を示唆する研究が報告されているが[37,40]。現時点では腹部領域に POCUS を導入することで急性期診療やプライマリケアにおける患者ケア改善に直接つながることを示した研究は限られている。また大規模試験やランダム化比較試験など質の高い研究も非常に少なく[59]、今後は腹部領域の POCUS に関して質の高い臨床研究が必要となる。

POCUS に関する臨床研究のテーマは多岐にわたるが、その利用の拡大と課題の解決に向け、本邦において概念の普及と理解が進むことが強く望まれる。

VII. 結語

超音波装置の小型化と高性能化が進み、POCUS という新しい概念が認知されるようになった。系統的超音波検査に対し、POCUS は「抽出」、「創出」、「統合」というアプローチで、主に急性期診療において臨床研究が進められ、腹部領域においてエビデンスの集積が進んでいる。我々が実施した救急室での研究、及び検査室での前向き観察研究を通じて、引き続き腹部領域の POCUS に関する臨床研究を進めていく上で一定の知見を得ることができた。今後 POCUS は診療能力向上に役立つ基本的なスキルとして期待されているが、その導入が患者ケア向上に役立つかを検

証し, 臨床研究を進めていく必要もある. また POCUS を利用した質の高い診療を展開してゆくためには, POCUS の概念の普及をはかるとともに, その教育システムを構築する必要がある.

引用文献

- 1) 亀田徹, 谷口信行. 急性期診療における point-of-care ultrasonography. *日救急医学会誌* 26: 91-104, 2015.
- 2) Moore CL, Copel JA. Point-of-care ultrasonography. *N Engl J Med* 364: 749-57, 2011.
- 3) Dietrich CF, Goudie A, Chiorean L, Cui XW, Gilja OH, Dong Y, Abramowicz JS, Vinayak S, Westerway SC, Nolsøe CP, Chou YH, Blaivas M. Point of care ultrasound: a WFUMB position paper. *Ultrasound Med Biol* 43: 49-58, 2017.
- 4) American College of Emergency Physicians. Emergency ultrasound guidelines. *Ann Emerg Med* 53: 550-70, 2009.
- 5) Marin JR, Lewiss RE; American Academy of Pediatrics, Committee on Pediatric Emergency Medicine, 2013-2014.; Society for Academic Emergency Medicine (Reviewers).; American College of Emergency Physicians, Pediatric Emergency Medicine Committee, 2013-2014.; World Interactive Network Focused on Critical Ultrasound Board of Directors (reviewers).; American Academy of Pediatrics Committee on Pediatric Emergency Medicine 2013-2014.; Society for Academic Emergency Medicine Reviewers.; American College of Emergency Physicians Pediatric Emergency Medicine Committee 2013-2014.; World Interactive Network Focused on Critical Ultrasound Board of Directors reviewers. Point-of-care ultrasonography by pediatric emergency physicians. Policy statement. *Ann Emerg Med* 65: 472-8, 2015.
- 6) Mayo PH, Beaulieu Y, Doelken P, Feller-Kopman D, Harrod C, Kaplan A, Oropello J, Vieillard-Baron A, Axler O, Lichtenstein D, Maury E, Slama M, Vignon P. American College of Chest Physicians/La Société de Réanimation de Langue Française statement on competence in critical care ultrasonography. *Chest* 135: 1050-60, 2009.
- 7) Solomon SD, Saldana F. Point-of-care ultrasound in medical education—stop listening and look. *N Engl J Med* 370: 1083-5, 2014.
- 8) 亀田徹. 病歴と身体所見に基づいたエコーを使った診断推論 「Point-of-Care 超音波」というコンセプト. *総合診療* 26: 726-9, 2016.
- 9) Via G, Hussain A, Wells M, Reardon R, ElBarbary M, Noble VE, Tsung JW, Neskovic AN, Price S, Oren-Grinberg A, Liteplo A, Cordioli R, Naqvi N, Rola P, Poelaert J, Gulić TG, Sloth E, Labovitz A, Kimura B, Breikreutz R, Masani N, Bowra J, Talmor D, Guarracino F, Goudie A, Xiaoting W, Chawla

R, Galderisi M, Blaivas M, Petrovic T, Storti E, Neri L, Melniker L; International Liaison Committee on Focused Cardiac UltraSound (ILC-FoCUS).; International Conference on Focused Cardiac UltraSound (IC-FoCUS). International evidence-based recommendations for focused cardiac ultrasound. *J Am Soc Echocardiogr* 27: 683.e1–683.e33, 2014.

10) Volpicelli G, Elbarbary M, Blaivas M, Lichtenstein DA, Mathis G, Kirkpatrick AW, Melniker L, Gargani L, Noble VE, Via G, Dean A, Tsung JW, Soldati G, Copetti R, Bouhemad B, Reissig A, Agricola E, Rouby JJ, Arbelot C, Liteplo A, Sargsyan A, Silva F, Hoppmann R, Breitzkreutz R, Seibel A, Neri L, Storti E, Petrovic T; International Liaison Committee on Lung Ultrasound (ILC-LUS) for International Consensus Conference on Lung Ultrasound (ICC-LUS). International evidence-based recommendations for point-of-care lung ultrasound. *Intensive Care Med* 38: 577–91, 2012.

11) Ha YR, Toh HC. Clinically integrated multi-organ point-of-care ultrasound for undifferentiated respiratory difficulty, chest pain, or shock: a critical analytic review. *J Intensive Care* 4: 54, 2016.

12) Sekiguchi H. Tools of the trade: Point-of-care ultrasonography as a stethoscope. *Semin Respir Crit Care Med* 37: 68–87, 2016.

13) Körner M, Krötz MM, Degenhart C, Pfeifer KJ, Reiser MF, Linsenmaier U. Current role of emergency US in patients with major trauma. *Radiographics* 28: 225–42, 2008.

14) Kameda T, Taniguchi N. Overview of point-of-care abdominal ultrasound in emergency and critical care. *J Intensive Care* 4: 53, 2016.

15) 亀田徹, 高橋功, 森下由香, 吉田哲, 大西新介, 内藤祐貴, 清水隆文, 真鍋春子, 岩崎浩司, 本間多恵子. 救急外来における携帯型装置を用いた腹部超音波検査の有用性. *Jpn J Med Ultrasonics* 34: 521–31, 2007.

16) Carroll PJ, Gibson D, El-Faedy O, Dunne C, Coffey C, Hannigan A, Walsh SR. Surgeon-performed ultrasound at the bedside for the detection of appendicitis and gallstones: systematic review and meta-analysis. *Am J Surg* 205: 102–8, 2013.

17) Ross M, Brown M, McLaughlin K, Atkinson P, Thompson J, Powelson S, Clark S, Lang E. Emergency physician-performed ultrasound to diagnose cholelithiasis: a systematic review. *Acad Emerg Med* 18: 227–35, 2011.

- 18) Summers SM, Scruggs W, Menchine MD, Lahham S, Anderson C, Amr O, Lotfipour S, Cusick SS, Fox JC. A prospective evaluation of emergency department bedside ultrasonography for the detection of acute cholecystitis. *Ann Emerg Med* 56: 114–22, 2010.
- 19) Rubano E, Mehta N, Caputo W, Paladino L, Sinert R. Systematic review: emergency department bedside ultrasonography for diagnosing suspected abdominal aortic aneurysm. *Acad Emerg Med* 20: 128–38, 2013.
- 20) van Randen A, Bipat S, Zwinderman AH, Ubbink DT, Stoker J, Boermeester MA. Acute appendicitis: meta-analysis of diagnostic performance of CT and graded compression US related to prevalence of disease. *Radiology* 249: 97–106, 2008.
- 21) Chen SC, Wang HP, Hsu HY, Huang PM, Lin FY. Accuracy of ED sonography in the diagnosis of acute appendicitis. *Am J Emerg Med* 18: 449–52, 2000.
- 22) Fox JC, Hunt MJ, Zlidenny AM, Oshita MH, Barajas G, Langdorf MI. Retrospective analysis of emergency department ultrasound for acute appendicitis. *Cal J Emerg Med* 8: 41–5, 2007.
- 23) Fox JC, Solley M, Anderson CL, Zlidenny A, Lahham S, Maasumi K. Prospective evaluation of emergency physician performed bedside ultrasound to detect acute appendicitis. *Eur J Emerg Med* 15: 80–5, 2008.
- 24) Elikashvili I, Tay ET, Tsung JW. The effect of point-of-care ultrasonography on emergency department length of stay and computed tomography utilization in children with suspected appendicitis. *Acad Emerg Med* 21: 163–70, 2014.
- 25) Sivitz AB, Cohen SG, Tejani C. Evaluation of acute appendicitis by pediatric emergency physician sonography. *Ann Emerg Med* 64: 358–64, 2014.
- 26) Mallin M, Craven P, Ockerse P, Steenblik J, Forbes B, Boehm K, Youngquist S. Diagnosis of appendicitis by bedside ultrasound in the ED. *Am J Emerg Med* 33: 430–2, 2015.
- 27) 亀田徹, 高橋功. 携帯型装置を用いた超音波検査による虫垂炎の診断. *日腹部救急医学会誌* 29: 823–7, 2009.
- 28) Ogata M, Mateer JR, Condon RE. Prospective evaluation of abdominal sonography for the diagnosis of bowel obstruction. *Ann Surg* 223: 237–41, 1996.

- 29) Unlüer EE, Yavaş O, Eroğlu O, Yılmaz C, Akarca FK. Ultrasonography by emergency medicine and radiology residents for the diagnosis of small bowel obstruction. *Eur J Emerg Med* 17: 260–4, 2010.
- 30) Jang TB, Schindler D, Kaji AH. Bedside ultrasonography for the detection of small bowel obstruction in the emergency department. *Emerg Med J* 28: 676–8, 2011.
- 31) Kameda T, Kawai F, Taniguchi N, Kobori Y. Usefulness of transabdominal ultrasonography in excluding adnexal disease. *J Med Ultrason* 43: 63–70, 2016.
- 32) 亀田徹, 高橋功. 下腹部痛を主訴とした付属器疾患に対する携帯型装置を用いた経腹超音波検査. *日腹部救急医学会誌* 32: 587–93, 2012.
- 33) Gaspari RJ, Horst K. Emergency ultrasound and urinalysis in the evaluation of flank pain. *Acad Emerg Med* 12: 1180–4, 2005.
- 34) Watkins S, Bowra J, Sharma P, Holdgate A, Giles A, Campbell L. Validation of emergency physician ultrasound in diagnosing hydronephrosis in ureteric colic. *Emerg Med Australas* 19: 188–95, 2007.
- 35) Moak JH, Lyons MS, Lindsell CJ. Bedside renal ultrasound in the evaluation of suspected ureterolithiasis. *Am J Emerg Med* 30: 218–21, 2012.
- 36) Herbst MK, Rosenberg G, Daniels B, Gross CP, Singh D, Molinaro AM, Luty S, Moore CL. Effect of provider experience on clinician-performed ultrasonography for hydronephrosis in patients with suspected renal colic. *Ann Emerg Med* 64: 269–76, 2014.
- 37) Smith-Bindman R, Aubin C, Bailitz J, Bengiamin RN, Camargo CA Jr, Corbo J, Dean AJ, Goldstein RB, Griffey RT, Jay GD, Kang TL, Kriesel DR, Ma OJ, Mallin M, Manson W, Melnikow J, Miglioretti DL, Miller SK, Mills LD, Miner JR, Moghadassi M, Noble VE, Press GM, Stoller ML, Valencia VE, Wang J, Wang RC, Cummings SR. Ultrasonography versus computed tomography for suspected nephrolithiasis. *N Engl J Med* 371: 1100–10, 2014.
- 38) Kameda T, Kawai F, Taniguchi N, Mori I, Ono M, Tsukahara N, Kobori Y, Yoshida H, Wagai K, Numao A. Ultrasonography for ureteral stone detection in patients with or without caliceal dilatation. *J Med Ultrason* 37: 9–14, 2010.
- 39) 初期診療総論. 日本外傷学会外傷初期診療ガイドライン改定第4版編集委員会. 外傷初期

診療ガイドライン. 改定第4版. へるす出版, 東京, 2012.

- 40) Melniker LA, Leibner E, McKenney MG, Lopez P, Briggs WM, Mancuso CA. Randomized controlled clinical trial of point-of-care, limited ultrasonography for trauma in the emergency department: the first sonography outcomes assessment program trial. *Ann Emerg Med* 48: 227–35, 2006.
- 41) Walcher F, Weinlich M, Conrad G, Schweigkofler U, Breitzkreutz R, Kirschning T, Marzi I. Prehospital ultrasound imaging improves management of abdominal trauma. *Br J Surg* 93: 238–42, 2006.
- 42) Kameda T, Murata Y, Fujita M, Isaka A. Transabdominal ultrasound-guided urethral catheterization with transrectal pressure. *J Emerg Med* 46: 215–9, 2014.
- 43) 亀田徹. 直腸診併用による経腹超音波ガイド下尿道カテーテル挿入. *救急医学* 41: 350–4, 2017.
- 44) O'Dochartaigh D, Douma M. Prehospital ultrasound of the abdomen and thorax changes trauma patient management: A systematic review. *Injury* 46: 2093–102, 2015.
- 45) Rudolph SS, Sørensen MK, Svane C, Hesselfeldt R, Steinmetz J. Effect of prehospital ultrasound on clinical outcomes of non-trauma patients – a systematic review. *Resuscitation* 85: 21–30, 2014.
- 46) Zhang S, Zhu D, Wan Z, Cao Y. Utility of point-of-care ultrasound in acute management triage of earthquake injury. *Am J Emerg Med* 32: 92–5, 2014.
- 47) Hu H, He Y, Zhang S, Cao Y. Streamlined focused assessment with sonography for mass casualty prehospital triage of blunt torso trauma patients. *Am J Emerg Med* 32: 803–6, 2014.
- 48) Boniface KS, Shokoohi H, Smith ER, Scantlebury K. Tele-ultrasound and paramedics: real-time remote physician guidance of the Focused Assessment With Sonography for Trauma examination. *Am J Emerg Med* 29: 477–81, 2011.
- 49) Adhikari S, Blaivas M, Lyon M, Shiver S. Transfer of real-time ultrasound video of FAST examinations from a simulated disaster scene via a mobile phone. *Prehosp Disaster Med* 29: 290–3, 2014.

- 50) Song KJ, Shin SD, Hong KJ, Cheon KW, Shin I, Song SW, Kim HC. Clinical applicability of real-time, prehospital image transmission for FAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma). *J Telemed Telecare* 19: 450–5, 2013.
- 51) Hoppmann RA, Rao VV, Poston MB, Howe DB, Hunt PS, Fowler SD, Paulman LE, Wells JR, Richeson NA, Catalana PV, Thomas LK, Britt Wilson L, Cook T, Riffle S, Neuffer FH, McCallum JB, Keisler BD, Brown RS, Gregg AR, Sims KM, Powell CK, Garber MD, Morrison JE, Owens WB, Carnevale KA, Jennings WR, Fletcher S. An integrated ultrasound curriculum (iUSC) for medical students: 4-year experience. *Crit Ultrasound J* 3: 1–12, 2011.
- 52) Bahner DP, Adkins EJ, Hughes D, Barrie M, Boulger CT, Royall NA. Integrated medical school ultrasound: development of an ultrasound vertical curriculum. *Crit Ultrasound J* 5: 6, 2013.
- 53) Patel SG, Benninger B, Mirjalili SA. Integrating ultrasound into modern medical curricula. *Clin Anat* 30: 452–60, 2017.
- 54) Hammoudi N, Arangalage D, Boubrit L, Renaud MC, Isnard R, Collet JP, Cohen A, Duguet A. Ultrasound-based teaching of cardiac anatomy and physiology to undergraduate medical students. *Arch Cardiovasc Dis* 106: 487–91, 2013.
- 55) Bell FE 3rd, Wilson LB, Hoppmann RA. Using ultrasound to teach medical students cardiac physiology. *Adv Physiol Educ* 39: 392–6, 2015.
- 56) Páez A, Juárez N, Marín M, Del Vigo S, Redondo E, Durán M. Concordance analysis of ultrasonographic diagnoses by urology nurses. *Arch Esp Urol* 65: 872–8, 2012.
- 57) 正源寺美穂, 臺美佐子, 須釜淳子, 福村友香, 島田啓子. 看護理工学会誌 3: 118–22, 2016.
- 58) 亀田徹. 救急領域における point-of-care ultrasound(POCUS). 超音波検査技術 42: 296–7, 2017.
- 59) Moore CL. Does ultrasound improve clinical outcomes? Prove it. *Crit Care Med* 43: 2682–3, 2015.