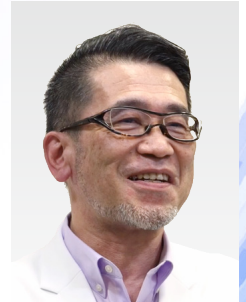


2023年5月27日(土)～29日(月)の3日間、日本超音波医学会 第96回学術集会在大宮ソニックシティを会場に開催された。28日(日)に行われたキヤノンメディカルシステムズ株式会社共催のランチョンセミナー7では、川崎医科大学/検査診断学 教授 畠 二郎氏が座長を務め、飯田市立病院/消化器内科 岡庭 信司氏が「AI×ECHO Aplioが描く次世代ハーモニックのカタチ」をテーマに講演を行った。

講演

膵胆道領域における 最新画像テクノロジーの UPDATE



岡庭 信司
飯田市立病院 消化器内科

肝臓領域に比べると、膵胆道領域は鑑別診断より拾い上げ診断が主体となる。特に膵臓の体外式超音波検査はその客観性と再現性に課題があり、超音波診断装置の高い描出能と検者のスキャンテクニックが重要である。本講演では、キヤノンメディカルシステムズの超音波診断装置「Aplio i-series / Prism Edition」に新たに搭載した技術を中心とした臨床経験について報告する。

膵胆道系における体外式超音波検査の課題

膵頭部領域と胆嚢は他の臓器に比べ、視野深度が比較的浅い部位を観察することが多いため、多重反射やサイドロープの影響を受けやすい。さらに、複雑な解剖学的構造、肥満、消化管ガス、皮下脂肪などの被検者の条件、検者の経験や技術に伴う描出能の低下が体外式超音波検査の課題である。こうした課題に対応すべく Aplio i-series / Prism Edition には新しい技術が搭載されている。

キヤノンメディカルシステムズの AIソリューションブランド Activity

ActivityはキヤノンメディカルシステムズのAIソリューションブランドであり、開発の段階でディープラーニングやマシンラーニングを用いている。すでに、Aplio i-series / Prism Editionでは、閉じた構造物を検出するSmart Area Indicationや、心エコー図検査において二腔断面・四腔断面・三腔断面を認識し検査を効率化する2D Wall Motion Tracking Advance、頸動脈IMT計測や心臓の駆出率(EF: Ejection Fraction)を得るための心内膜の初期輪郭のトレース、波形計測を自動化するMeasurement Assistantといった技術がActivityを活用して実装され、臨床で活用されている。

3rd Harmonic Imaging powered by Activity

今回実装された3rd Harmonic Imagingにおいても開発段階の画像処理技術でActivityを活用している。

Tissue Harmonic Imagingは超音波が物質を伝搬する際に歪むことにより発生する非線形現象を応用した技術である。歪んだ波は、基本波(Fundamental)、二次高調波、さらには三次・四次と整数倍にピークを持つ成分に分解することが可能である(図1)。2nd Harmonicは基本波に比べて高い空間分解能とコントラスト分解能を実現し、またサイドロープアーチファクトおよび多重反射を低減するため、現在ほぼ全ての臨床領域において採用されている。しかし、腹壁近傍に位置する胆嚢や膀胱などでは、サイドロープアーチファクトや多重反射については更なる改善の余地がある。一方、3rd Harmonicは、サイドロープアーチファクトおよび多重反射を2nd Harmonicより低減するが、非線形成分が発生しにくいいため、信号がとても弱く、抽出が困難であった。

キヤノンメディカルシステムズでは、長年Fundamental、2nd Harmonic Imaging、Differential THIとTissue Harmonic Imagingの技術開発を進めてきた。これまで培った技術を基礎にして、3rd Harmonicを効率的に抽出するためにAIを活用し、従来の2nd Harmonic成分に3rd Harmonic成分を取り入れた3rd Harmonic Imagingを実装することに成功した。

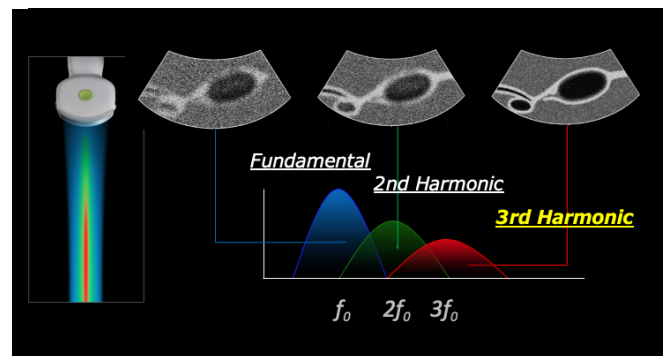


図1 非線形現象によって発生するハーモニック成分

ファントムを用いた3rd Harmonic Imagingの評価

まず初めに胆管結石のファントムを用いて3rd Harmonic Imagingの評価を行った。通常のコンベックスプローブ(PVI-475BX)を、通常の腹部超音波検査に用いる音速設定として2nd Harmonic Imagingで観察すると、胆管結石の輪郭は不明瞭であり、胆管内腔の抜けも物足りない印象を受ける(図2a)。

一方、3rd Harmonic Imagingでは、胆管結石の輪郭や音響陰影(アコースティックシャドウ)が明瞭となり、高周波コンベックスプローブ(PVI-574BX)の画像に近い印象を受ける。さらに、脾実質の輪郭も明瞭となり、上腸間膜静脈や下大静脈など周囲の血管構造の内腔も抜けの良い画像となっている(図2b)

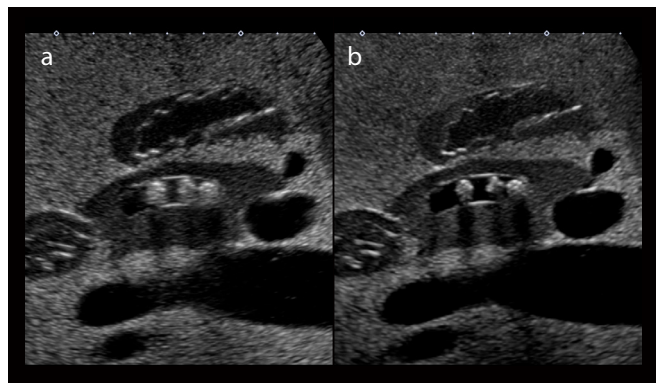


図2 胆管結石のファントムによる比較
a: 2nd Harmonic Imaging, b: 3rd Harmonic Imaging

臨床例における3rd Harmonic Imagingの評価(胆道)

脾頭部を右肋骨弓下横走査で描出すると、下大静脈の前方を遠位(脾内)胆管が走行するが、本例は胆管径が細いため2nd Harmonic Imagingでは内腔の抜けが悪い(図3a)。しかし、3rd Harmonic Imagingに切り替えると、2nd Harmonic Imagingと比べて胆管内腔の抜けが良くなり、遠位(脾内)胆管の同定が容易になる(図3b)。

同じ症例を右肋骨弓下縦走査で観察すると、2nd Harmonic Imagingでも乳頭部近傍まで遠位(脾内)胆管が描出できるが、胆管内に一見デブリエコーのように見える内部エコーを認める(図3c)。しかし、3rd Harmonic Imagingに切り替えると、胆管内腔の抜けが良くなり、デブリ様エコーは消失する(図3d)。このように、腹痛例などにおいて2nd Harmonic Imagingでは胆管内腔の抜けが悪くデブリエコーかアーチファクトなのか判断に悩む際にも、3rd Harmonic Imagingで観察することにより、胆管内腔の抜けが良くなり、腹痛の原因となる異常(デブリエコー)が無いことを自信をもって判定できる。

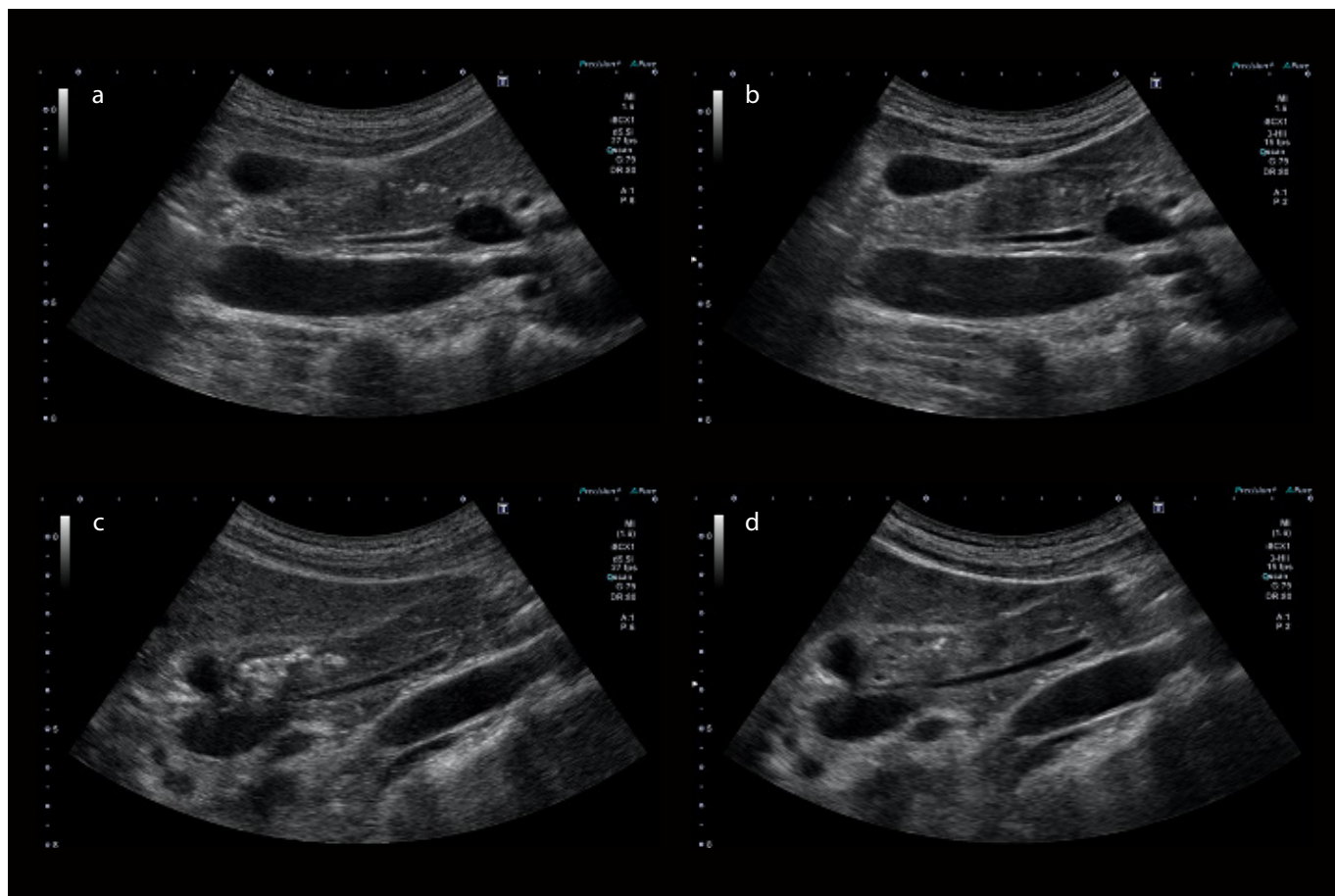


図3 左肋骨弓下走査における遠位(脾内)胆管の比較
a: 横走査2nd Harmonic Imaging b: 横走査3rd Harmonic Imaging
c: 縦走査2nd Harmonic Imaging d: 縦走査3rd Harmonic Imaging

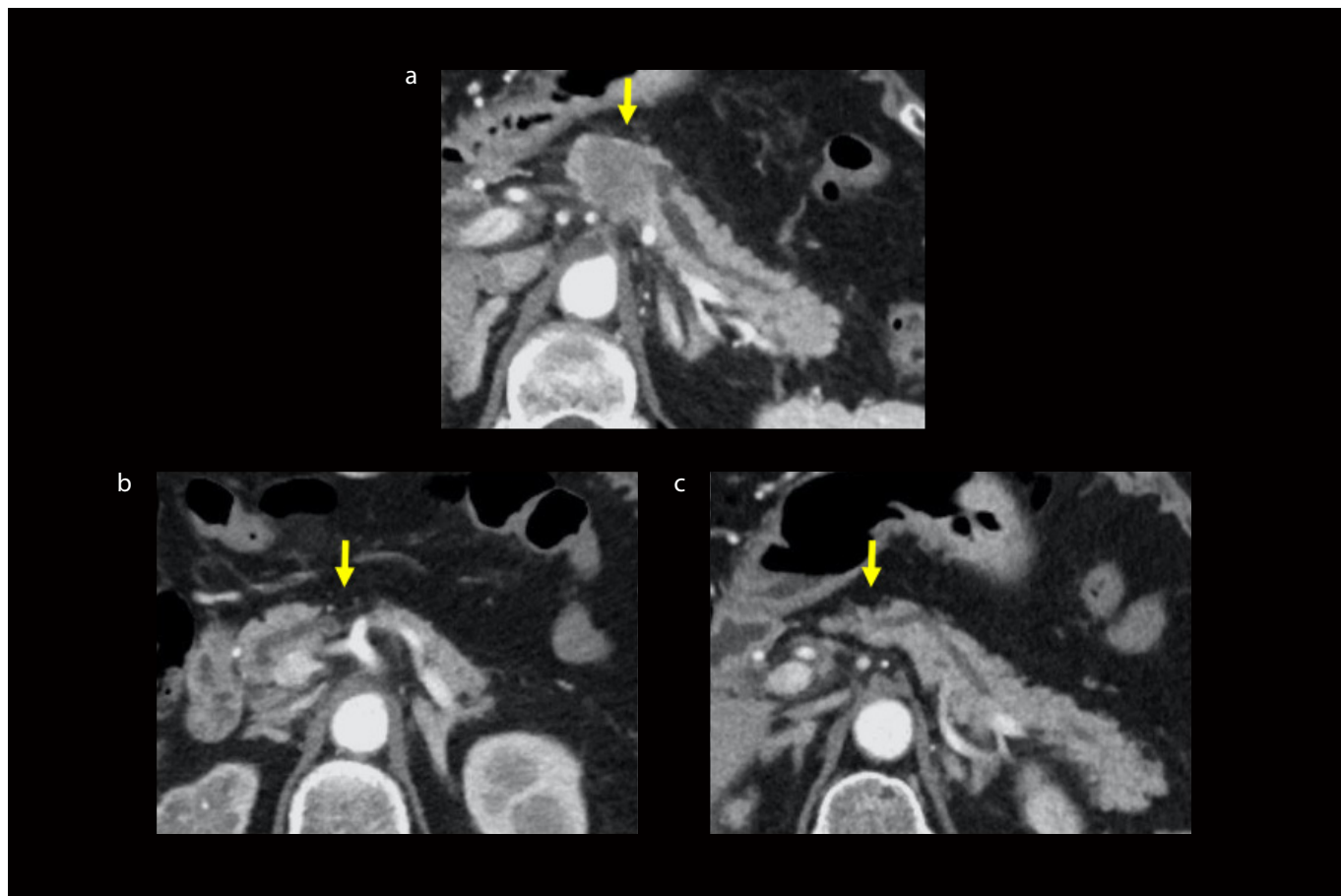


図4 脂肪置換を認めた膵癌症例
a:紹介時のCTにて膵体部に腫瘍を認める b,c:3年前のCTでは腫瘍は指摘できないが、同部位に限局性膵萎縮と脂肪置換を認める

臨床例における3rd Harmonic Imagingによる評価(膵臓)

≧3mmの主膵管拡張や≧5mmの小嚢胞(分枝膵管の拡張)は膵癌の高危険群とされており、スクリーニングにおいても重要な超音波画像所見である。3rd Harmonic Imagingでは、内腔の抜けの良い画像となるため、わずかに拡張した主膵管や小嚢胞の同定が容易になる。さらに、粘液などを反映する内部のデブリエコーの有無もより正確に判定できると考える。

上皮内癌などでは、随伴性膵炎に伴う膵実質の萎縮によって周囲脂肪組織に置き換わる脂肪置換を来すことが明らかになっており、膵臓の輪郭を評価することもこれからの画像診断の課題である。

ここに提示したCTは、尾側主膵管の拡張を伴う典型的な膵体部の進行癌である(図4a)。しかし、この症例の3年前のCTを見直すと(図4bc)、主膵管は膵頭部から尾部までびまん性に拡張しており、この症例は膵癌の高危険群と考えられる。さらに、膵体部には膵実質の限局性萎縮に伴う片側弯入を認めており、この時点で上皮内癌が存在していた可能性がある。

膵癌早期診断研究会(JEDPAC)の報告によると、上皮内癌においても脂肪置換の症例が42%報告されており、早期に膵癌を発見するために重要な画像所見と考えられる(表1)¹⁾。しかし、この所見は造影CTのみで指摘されており、US、MRI、EUSでは指摘できていない。

画像所見	腫瘍像	膵管拡張	膵管狭窄	脂肪置換
US	8.8%	76.5%	5.9%	—
造影 CT	10.0%	72.0%	—	42.0%
腹部 MRI	10.9%	73.9%	—	—
EUS	24.4%	85.4%	68.3%	—

表1 膵上皮内癌の画像所見(n=51)

一方、以前から体位変換を活用して高周波プローブで膵臓を観察すると、膵臓の輪郭が明瞭となり、被膜様構造が描出できる例が存在することが知られていた。3rd Harmonic Imagingで膵臓を観察すると、通常周波数であるにも関わらず、膵臓の輪郭が明瞭となり、一部に高エコーの被膜様構造が描出できた(図5)。あくまで主観的な評価ではあるが、3rd Harmonic Imagingでは膵臓の輪郭が強調され、通常周波数のプローブでも被膜(膵臓の輪郭)を同定できる可能性がある。

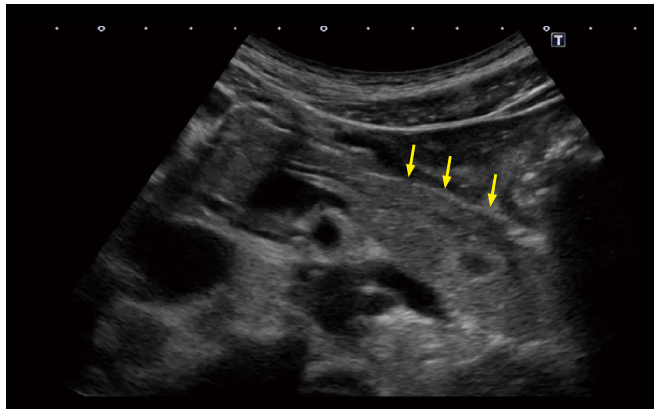


図5 膵輪郭の観察

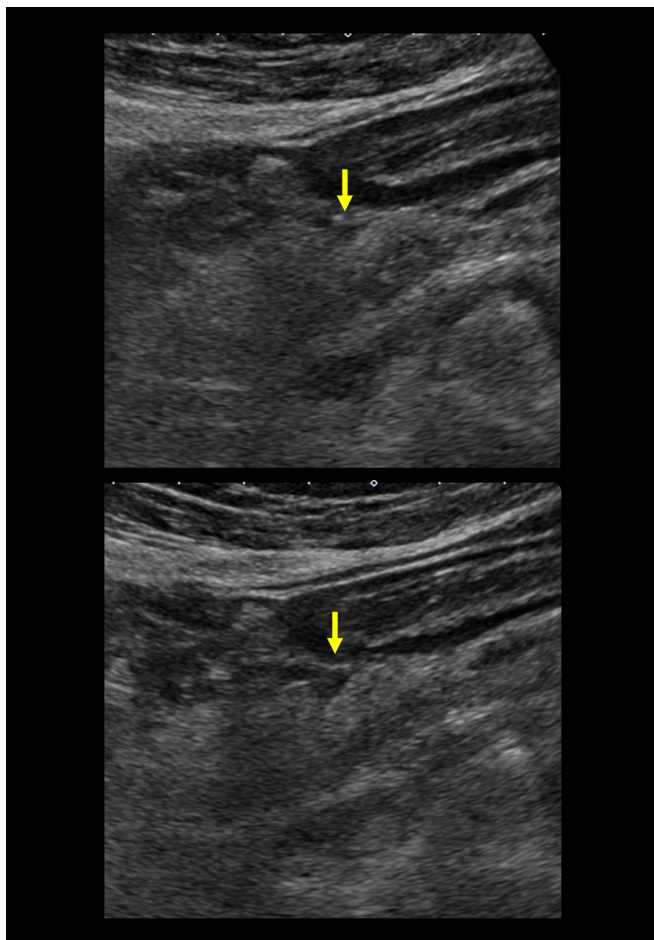


図6 膵輪郭の観察
2nd Harmonic Imagingと3rd Harmonic Imagingの比較
3rd Harmonic Imagingの方が膵頭部のくさび状の低エコー領域がより明瞭に観察できる

次の症例は、膵体部に嚢胞を認めるため膵癌の高危険群と考えられる例であり、2nd Harmonic Imagingと3rd Harmonic Imagingで比較観察を行った。2nd Harmonic Imagingと比べると、3rd Harmonic Imagingでは膵頭部のくさび状の低エコー領域がより明瞭に観察できる。この超音波画像所見は限局性の膵実質の萎縮を来した部位に内臓脂肪が入り込んだ状況を反映していると推察した。3rd Harmonic Imagingでは

膵臓の輪郭が明瞭となるため、こうした随伴性膵炎を反映した膵実質の萎縮所見を拾い上げることができる可能性があると考え。片側弯入を認める症例では、6カ月以下の短期間での超音波や他の画像診断による経過観察を行うことが重要と考える。

単結晶iDMS (intelligence Dynamic Micro-Slice) プローブ PLI-605BX

次に、Aplio i-series / Prism Editionで使用可能になった高周波リニアプローブPLI-605BXを紹介する。従来の高周波リニアプローブPLI-705BXとの大きな違いは2点ある。1点目の特長は、プローブのヘッド先端が丸みを帯びていることであり(図7)、この形状によりプローブの回転・扇動操作が容易となり、遠位(膵内)胆管や主膵管などの追跡描出が容易となっている。

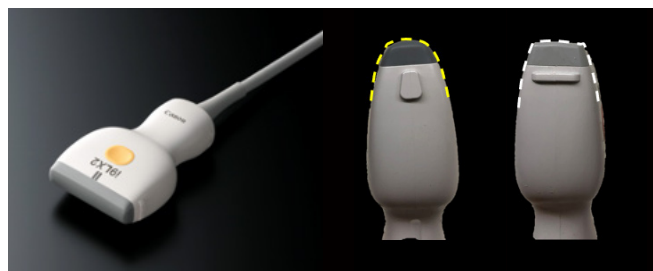


図7 a: 単結晶 iDMS プローブ PLI-605BX b: PLI-605BX の断面 c: 従来型プローブの断面

2点目の特長は、深部感度とコントラスト分解能の向上である。単結晶を採用したことによって周波数帯域が広がり、加えてiBeam+による処理能力が向上したことにより、より広帯域に差音成分を発生させ画像化できるようになったため、ペネトレーションが向上している。体格の良い患者においても、心窩部縦走査で下大静脈の前に位置する高輝度の背側膵、低輝度の腹側膵、上腸間膜静脈の観察が可能である(図8)。

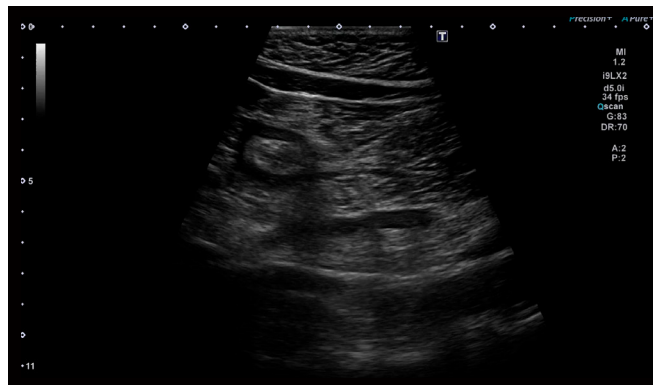


図8 PLI-605BX による体格の良い被検者の膵臓の観察

・正常ボランティアの超音波画像

心窩部横走査(図9a)では、膵尾部を左副腎や左腎上極まで明瞭に描出することが可能である。さらにFull Focusにすることにより、近位側に位置する主膵管や膵内胆管を追跡しながら頭体部の膵実質を観察することも可能である。心窩部縦走査(図9b)では膵尾部から観察することが多いが、PLI-605BXではペネトレーションが向上しているため深い位置の主膵管や膵実質、膵被膜も明瞭に描出できている印象を受ける。Full Focusにすることにより、膵尾部から連続して上腸間膜静脈の背側に位置する腹側膵(鉤状突起部)や下大静脈の前方を走行する遠位(膵内)胆管も明瞭に観察できる。このような高精細な画像でスクリーニングを行えば、体外式超音波検査でも超音波内視鏡検査にかなり近い画像が得られる可能性があり、膵癌の高危険群の経過観察にも活用できると考える。

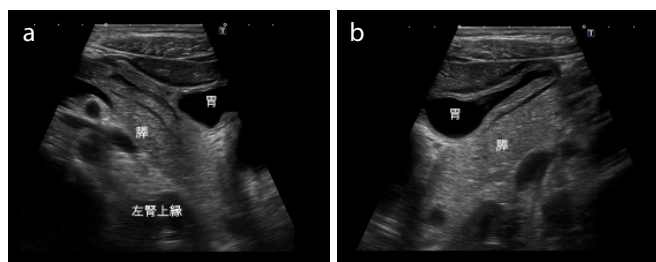


図9 PLI-605BXによる脾臓の観察
a: 正常脾尾部～左副腎, 左腎上縁 (心窩部横走査 Full Focus併用)
b: 正常脾実質 (心窩部縦走査 Full Focus併用)

・腓腫大の精査依頼例

腓尾部腫大の精査目的に紹介となった症例である。心窩部縦横走査では、腓体尾部に主腓管拡張や腓実質の異常を認めない。

脾腫大では脾管の閉塞機転の有無を評価するために脾頭部から観察するが、PLI-605BXでは正常脾管とその腹側を走行する細い線状の副脾管が十二指腸近傍まで明瞭に描出可能であった(図10a)。引き続き胆管結石などの有無を評価するため右肋骨弓下横走査を行うと、乳頭部近傍の遠位胆管から肝門部領域胆管まで連続して観察可能であった(図10b)。以上より生理的な脾腫大と考え経過観察で良いと判断できた。

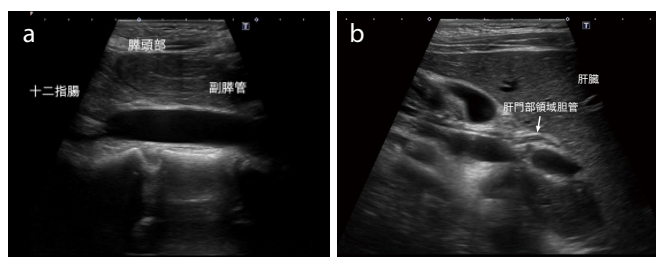


図10 PLI-605BXによる膵臓の観察
a:膵頭部(心窩部縦横走査) b:肝門部領域胆管(右肋骨弓下横走査)

・分節型胆嚢腺筋腫症の精査依頼例

分節型胆嚢腺筋腫症では分節部から底部に平坦型の癌が好発するとされているため、胆嚢壁の血流速度の計測に加えPLI-605BXにて分節部から底部側まで連続的に記録した動画を保存し、経過観察時に比較することによって粘膜面の性状の変化を評価できると考える。

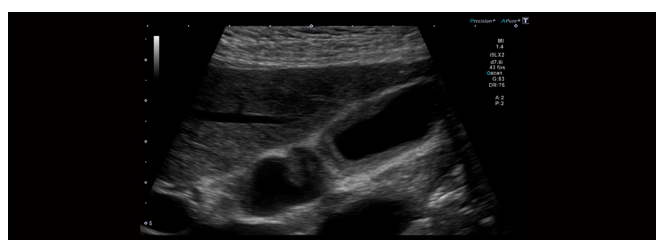


図11 PLI-605BXによる胆嚢壁の観察
胆嚢腺筋腫症の胆嚢壁の肥厚

- ・限局性主膵管狭窄周囲の淡い低エコー領域

MRCPで膵体部に限局性の主膵管狭窄が認められたため(図12a)、体外式超音波検査を行った。PVI-574BXを用いると膵体部の主膵管狭窄とその周囲に淡い低エコー領域を認めた(図12b)。早期膵癌の画像所見として前述した片側弯入や脂肪置換といった所見に加えて、限局性の膵管狭窄と周囲の淡い低エコー領域も注目されている。Kannoらの報告¹⁾によれば、膵上皮内癌51例における膵管狭窄の体外式超音波検査での検出率は5.8%で超音波内視鏡検査の68.2%に比べるとかなり低い。これは超音波内視鏡が膵臓の近くに位置する消化管から高周波を用いて観察するのに対して、体外式超音波検査では通常周波数を用いた検査が腹壁から行われることが多いためであり、体位変換を活用して高周波プローブを使用することによりこれらの所見の検出率を上げられる可能性がある。Nakahodoらは上皮内癌を疑う46例の検討で、実際に上皮内癌であった74.1%(20/27例)に低エコー領域を伴う主膵管狭窄を認めたと報告している²⁾。限局性膵炎を疑う淡い低エコー領域を伴う膵管狭窄では上皮内癌が疑われるため、少なくとも4年間の慎重な経過観察が必要と考える。

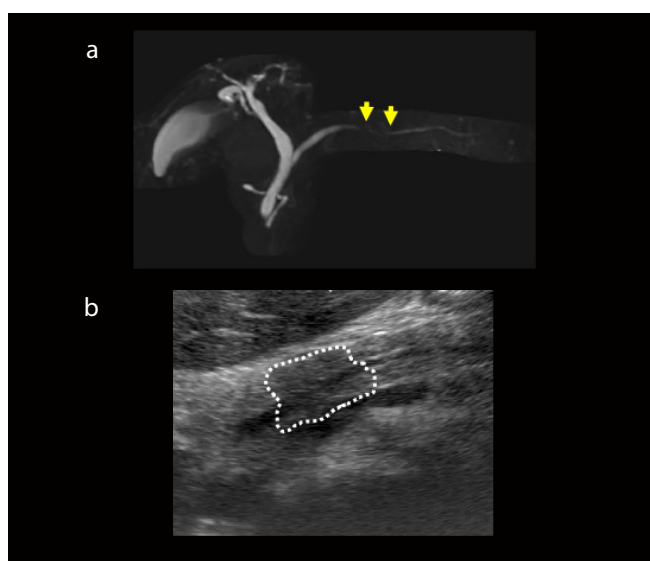


図12 上皮内癌を疑った限局性膵炎症例
a:MRCPで指摘された限局性の主膵管狭窄部位 b:膵体部に淡い低エコー領域(点線内)

・腓尾部囊胞精査依頼例

体尾部に小嚢胞を認めたため超音波検査を行った症例を提示する。PVI-475BXを3rd Harmonic Imagingを用いて観察したところ、小嚢胞の乳頭側に淡い低エコー領域があるように感じた。そこで被検者を半坐位としPLI-605BXに変更して同部位を描出(図13a)すると、低エコー領域がより明瞭に観察できた。さらに右側臥位にすると、淡い不整形の低エコー領域と内部の点状高エコーが明瞭となり、内部を貫通する膵管壁の輝度上昇も確認できた(図13b)。これにより限局性膵炎と診断し、膵管狭窄は伴っていないが上皮内癌が併存している可能性を考慮して4カ月毎の経過観察を行うこととした。

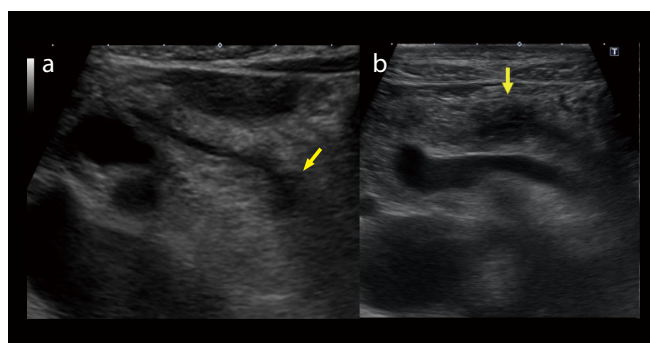


図13 小嚢胞の近傍の低エコー領域
a:半坐位での観察 b:右側臥位での観察

Superb Micro-vascular Imaging (以下SMI) Gen 4

最後に低流速血流イメージング技術SMI Gen 4について触れる。SMIは従来のカラードプラーイメージングでは取り除くことが難しかったモーションアーチファクトを独自のアルゴリズムで抑制し、低流速血流を詳細に表示する技術である。SMI Gen 4は、SMIよりも速い流速のモーションアーチファクトも除去することができるため血流描出の幅が広がり、従来のSMIとSMI Gen 4は流速レンジの調整によってシームレスに切り替えができる。

脾周囲の血流評価をAdvanced Dynamic Flow (以下ADF)とcSMI、mSMIを比較すると(図14)、ADFでも脾臓の描出のメルクマールとなる主要血管の描出は良好であるが、cSMIおよびmSMIではさらに細かな分枝の描出が可能となっている。例えば、脾体部の脾静脈をみると、ADFでは描出できない脾静脈への流入枝が、mSMIでは明瞭に描出されている。このような脾実質内の分枝血管と脾管の鑑別にもmSMIは有用と考える。

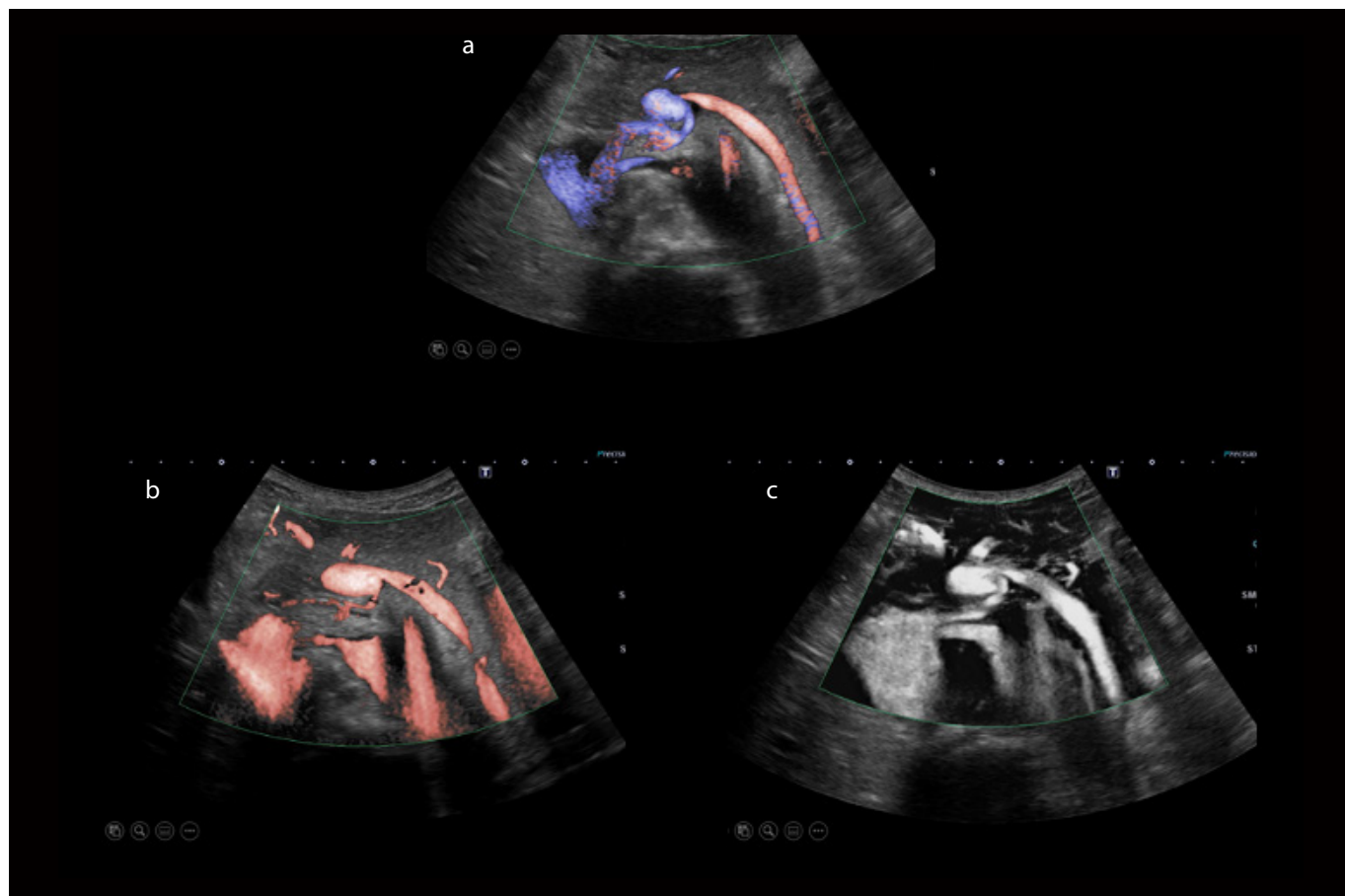


図14 脾周囲の血管評価におけるADFとcSMI、mSMIの比較
a: ADF b: cSMI c: mSMI

PLI-605BXでSMI Gen 4を使用すると、脾実質内の低流速の血流シグナルを詳細に描出することができる。但し、脾臓は血管拍動の影響を受けやすいため、ROIをある程度絞り、縦走査で描出の方が良い。

脾実質の血流情報を得ることは、脾腫瘍に対する適切な病理学的検査法の選択及びその正診率の向上にもつながることが期待される。

脾癌診療ガイドライン2022年版³⁾では充実性腫瘍像を認める場合にはEUS-FNA(超音波内視鏡下穿刺吸引法)を、主脾管狭窄のみを認める病変はSPACE(連続脾液細胞診)を行うことが強く推奨されている(図15)。指摘された充実性腫瘍像が腫瘍そのものであればEUS-FNAを選択することにより、SPACEに伴う脾炎などの有害事象を避けられる。

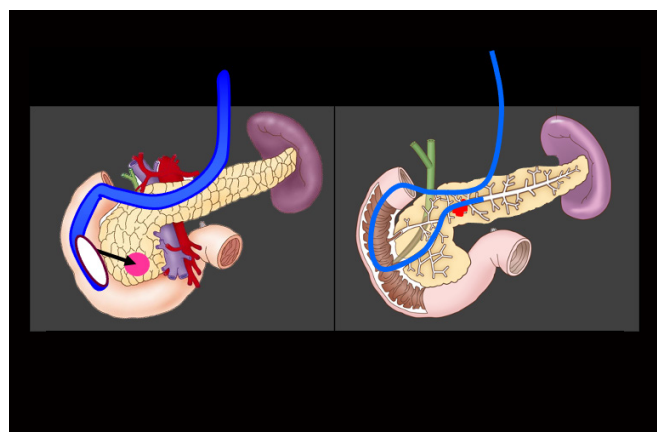


図15 EUS-FNA(超音波内視鏡下穿刺吸引法)とSPACE(連続脾液細胞診)

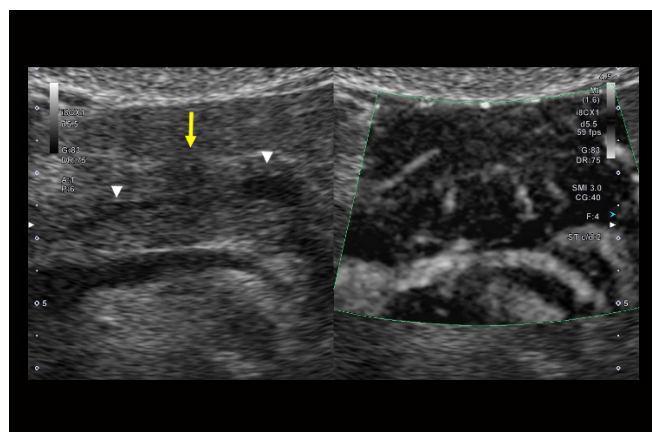


図16 限局性脾炎のmSMI (↓限局性脾管狭窄部周囲の低エコー領域、矢頭主脾管)

一方、指摘された充実性腫瘤像が限局性膵炎であれば、EUS-FNAを施行しても癌細胞は得られず、背景にある上皮内癌の診断はできない。SMI Gen 4で充実性腫瘤像の内部の血流評価を参考にすることにより、適切な精検法が選択できるようになり正診率の向上につながると考えられる。

尾側膵管の拡張を伴う造影不良域の精査目的に紹介された症例を提示する。超音波で観察すると主膵管狭窄部周囲に淡い低エコー領域を認め、同部位の主膵管は狭小化しているが分枝膵管の拡張はなく、mSMIで低エコー領域内に複数の血流シグナルを認めたため限局性膵炎と診断し慎重に経過観察を行っている(図16)。現在1年以上経過しているが、主膵管の狭窄や尾側膵管の拡張の程度などに変化はなく超音波画像にも変化を認めておらず、引き続き経過観察予定である。

一方で、膵癌の場合には主膵管狭窄部周囲の低エコー領域には血流シグナルを認めないことがわかる。本症例では、Twin View(Bモード、カラーの同時表示)を使用することにより、Bモードで管腔構造を観察しながらSMIを使用することが可能となり、低エコー領域内の血流シグナルが認められないことに加え、Bモードでは開存しているように見える脾動脈がencasementを受けていることも明らかとなった(図17)。現時点で膵臓領域では造影超音波の保険適応がないため、SMI Gen 4を用いて膵実質や腫瘤像の内部の血流情報を得ることは大変有用である。

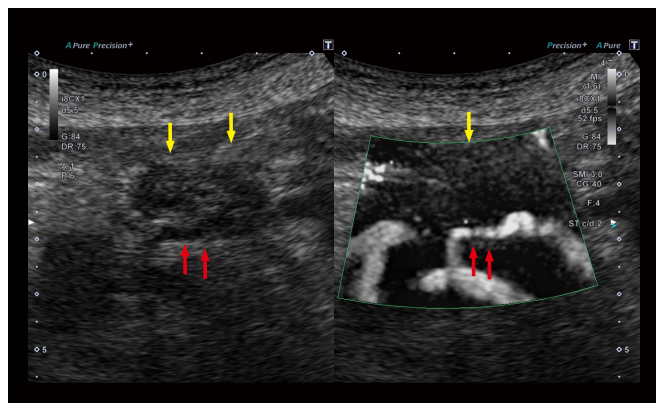


図17 膵癌症例のmSMI

まとめ

3rd Harmonic Imagingは通常のコンベックスプローブ PVI-475BXによる膵胆道の詳細な観察と膵臓の輪郭の評価が容易になる可能性が示唆された。また、高周波リニアプローブPLI-605BXは高フレームレートに加え、深部感度が向上しており膵管狭窄や淡い低エコー領域の指摘が可能である。さらにプローブのヘッド先端が丸みを帯びているためプローブの操作が容易となっている。SMI Gen 4は膵実質や腫瘤像の内部および周囲の脈管の血流情報が得られるため、限局性膵炎と小膵癌の鑑別診断に加え、確定診断に用いる精検法や生検部位を決定する上でも有用と考える。

超音波診断装置 会員制ウェブサイト

ECHO SALON

キャノンメディカルシステムズの超音波診断装置を活用するためのお役立ち情報をお届けします。簡単な会員登録でいつでも利用可能です。

知識を深め、スキルを高められる情報発信サイトです。本記事に掲載した岡庭先生の実際のご講演動画を含むキャノンメディカルと学会の共催セミナー動画や、超音波のスクランテクニクを学べる“Catch up on Echo”など多くのコンテンツをご用意しております。是非お気軽にご登録ください。

左記の二次元コードまたは下記URLより、
Web サイトにてご登録をお願いいたします。

https://go.global.medical.canon/us_echo_saloon



- 1) A.Kanno. Pancreatology 2018; 18: 61-67
2) J.Nakahodo. Pancreatology 2020; 8: 1689-1697
3) 膵癌診療ガイドライン 2022;

*本稿のコメントや数値については、岡庭先生のご意見・ご感想が含まれます
*本稿内のAIという表現は設計段階でAI技術を用いたことであり、お客様の検査、診断においてAI学習する技術ではありません
*Altivityはキャノンメディカルシステムズ株式会社のAIソリューションブランドです
*Prism EditionはAplio i900、Aplio i800、Aplio i700の愛称です
*本稿内の製品に関する薬機情報は下記の通りです

薬機情報一覧

一般的名称	販売名	認証番号
汎用超音波画像診断装置	超音波診断装置 Aplio i900 TUS-AI900	228ABBZX00020000
汎用超音波画像診断装置	超音波診断装置 Aplio i800 TUS-AI800	228ABBZX00021000
汎用超音波画像診断装置	超音波診断装置 Aplio i700 TUS-AI700	228ABBZX00022000
手持型体外式超音波診断用プローブ	コンベックス式電子スキャンプローブ i8CX1 PVI-475BX	228ABBZX00023000
手持型体外式超音波診断用プローブ	コンベックス式電子スキャンプローブ i10CX1 PVI-574BX	230ABBZX00063000
手持型体外式超音波診断用プローブ	リニア式電子スキャンプローブ i9LX2 PLI-605BX	302ABBZX00045000

キャノンメディカルシステムズ株式会社

本社 〒324-8550 栃木県大田原市下石上1385番地
<https://jp.medical.canon>

© Canon Medical Systems Corporation 2024

Made For life