

教育シンポジウム 3 : 次世代を担う若手研究者の活躍—若手の交流を深める—

北海道大学心血管エコー研究室における超音波医学を
牽引する人材の育成

村山 迪史^{*1§} 西野 久雄^{*2,3} 横山 しのぶ^{*2,3} 市川 絢子^{*2,3}
 柳 裕介^{*2,3} 後藤 真奈^{*2,3} 安藤 風歌^{*3} 田原 就^{*4}
 宮本 郁未^{*4} 神林 諒^{*4} 下野 裕依^{*4} 玉置 陽生^{*4}
 石坂 傑^{*4} 加賀 早苗^{*1§§}

要旨 本学的心血管エコー研究室では、超音波検査の実技に精通した上で、その研究者としても活躍できる指導的な人材の育成を目的とし、北海道大学病院検査・輸血部、超音波センターと循環器内科医師の協力を得て、教育・研究活動を行っている。当研究室に所属する大学院生は、修了要件にかかわるカリキュラムと並行し、北大病院のエコー室へ出向いて実務研修を行う。また、症例読影カンファレンスに参加し、自らの検査症例を提示し、その所見について議論する。こうして検査実務を十分理解した上で研究を行う。これまでの16年間で修士課程を修了した26名の進路は、15名が病院、8名が企業に就職し、3名が博士後期課程に進学した。少なくとも15名が日本超音波医学会認定超音波検査士、2名がその上位資格にあたる日本心エコー学会認定専門技師を取得した。本総説では、当研究室で実践する大学院教育、超音波医学研究、ならびに今後の展望について述べる。

キーワード 血管エコー研究室、超音波検査、ソノグラファー、日本超音波医学会認定超音波検査士、日本心エコー学会認定専門技師、大学院教育

はじめに

日本の臨床検査技師の特徴として、検体検査に加え、心電図、呼吸機能、脳波・神経生理や諸臓器の超音波検査を含む生理機能検査を実施できることがあげられる。令和5年に行われた日本臨床衛生検査技師会の会員意識調査によると、アン

ケートに回答した技師のうち、主担当業務として生理機能検査に携わっていると回答した割合は40%、副担当業務として携わっていると回答した割合は24%であり、半数以上が生理機能検査を担当していることがわかる¹⁾。この割合は、平成27年度に行われた同アンケート調査結果の44%に比し増加傾向である²⁾。また、臨床検査技師が

*1 北海道大学大学院保健科学研究院病態解析学分野心血管エコー研究室 § m.michito6080@gmail.com

§§ sanae@med.hokudai.ac.jp

*2 北海道大学病院検査・輸血部

*3 北海道大学病院超音波センター

*4 北海道大学大学院医学研究院循環器内科学教室

所属する医学系学会の加入率上位の2学会が日本超音波検査学会(42%)と日本超音波医学会(14%)であったとの結果から²⁾、生理機能検査の中でも、特に超音波検査を担当する技師(ソノグラファー)に対するニーズが高いことがうかがえる。

ソノグラファーは装置の管理・調整、検査手技、画像の撮像法と計測・評価法に習熟していることはもちろん、検査対象となる疾患についての十分な知識に基づき、個々の症例の所見や病態に応じて自ら検査を組み立てる必要がある。このため、検査のやりがいはいは大きい、検者依存性の高さから、検査の質にはばらつきが生じやすい。その重要な原因のひとつとして、現行の臨床検査技師の卒前教育の範囲では、超音波検査のような高度の専門教育を十分行うことが困難であることが挙げられる。

こうした背景を踏まえ、北海道大学(北大)大学院保健科学研究所が開設された平成20年度に発足した本学院・研究所の心血管エコー研究室³⁾では、大学院教育の一環として超音波検査の臨床研修を行っている。当研究室に所属する大学院生は、大学院における教育・研究プログラムと並行して、北大病院検査・輸血部、超音波センターと医学研究所循環器内科学教室の協力を得て、臨床現場での超音波検査の実技・読影指導を受けながら、研究に取り組む。超音波検査の実務に精通し、かつ、その研究者としても活躍できる指導的な人材を育成することが、本研究室の理念である。

I. 超音波検査の実学教育

現在の当研究室の構成員は、専任教員2名、大学院生と学部学生あわせて10名程度である。学内での講義・実習や研究指導は主に専任教員が担当するが、病院内での研修では、北大病院超音波センターでの業務を担当する臨床検査技師と循環器内科の医師も指導にあたっている。なお、専任教員は2名とも日本超音波医学会認定超音波検査士とその上位資格である日本心エコー学会認定専門技師の資格を有し、各々が週に2～3日程度心エコー室に出向いて検査業務を担当しつつ、

大学院生の指導を行っている。

当研究室に所属する大学院生は、研修初期においては、まず学生同士で検査の練習を行う。指導者は、必要に応じて、画像描出法のコツ等を助言する。ルーチン検査の手順を一通りこなすことができるようになった段階で、患者の検査へと移行する。指導者は検査が予定されている患者の中から初学者に適切と思われる症例を選び、依頼目的、カルテ情報、心電図や胸部X線の結果を大学院生とともに確認しつつ、評価すべきポイントを指導する。その後、指導者が検査を終了した時点で、研修中の大学院生に検査をさせて良いかどうかを患者に尋ね、許可が得られれば、10分程度、大学院生に検査を実施させる。患者の退室後、動画を指導者とともに閲覧し、その問題点や改善法を議論する。レポート作成はこの研修初期から大学院生が担当し、その内容を指導者がチェックし、計測値やレポートの表現に疑義があれば、逐一記録画像を確認する。その結果を受けて計測値や所見欄を訂正し、レポートを完成させる(図1左)。様々な条件の患者で安定した描出が可能となったら、指導者の検査施行前に検査を行わせる(研修中期)。指導者は、残りの検査を引継ぐとともに、不十分と思われる画像を再取得し、検査を完結させる。大学院生が、所見の少ない症例なら、評価に耐える画像を取得でき、各種計測を適切に行い、ほぼ独力でレポートも作成できるようになったと判断されたら、弁膜症等の評価すべき事項の多い患者の検査も行う(研修後期)。研修後期においても、指導者は一貫してレポート記載内容をチェックし、必要に応じて指導を行う。大学院生には検査のノルマがないため、症例ごとの予習・復習に十分な時間を費やすことができる。これを活かし、3D心エコー法を含む新技術の解析や他モダリティの読影法についてもじっくりと習得する(図1右)。

修士課程の期間に、大学院生が北大病院で行った検査施行件数の推移を図2に示す。研修は必修ではなく、学生の主体的な参加や学修意欲に依存するため、検査件数には個人差が大きく、修士課程の2年間で700例ほどに及ぶ学生もいた

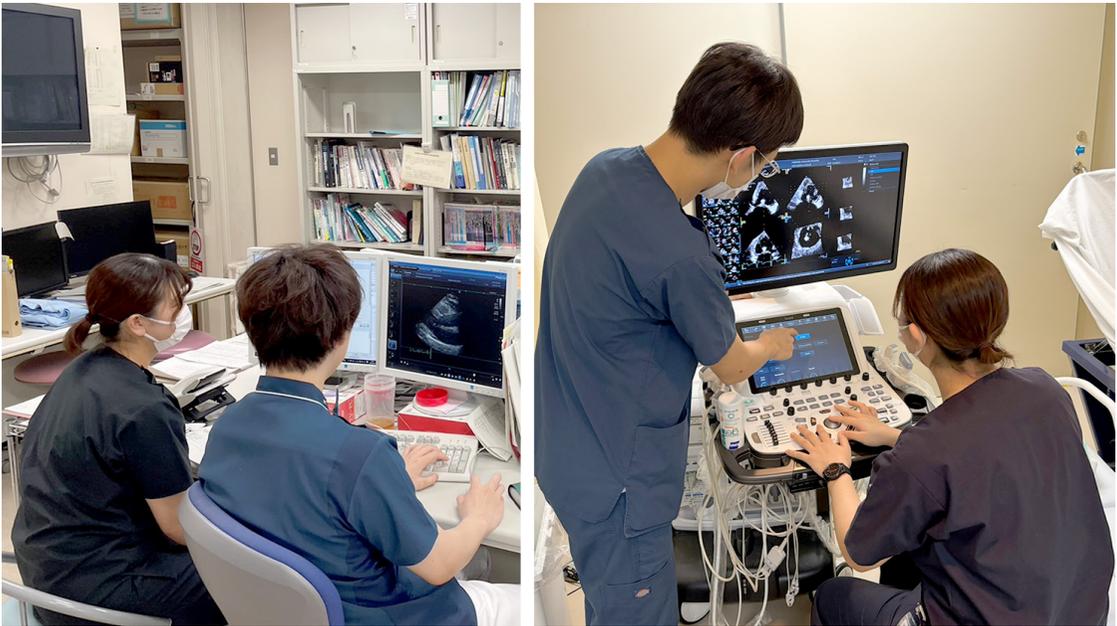


図1 検査後に大学院生がスタッフからレポート作成の指導を受ける様子(左)と
教員から3D心エコー法の解析方法を学ぶ様子(右)

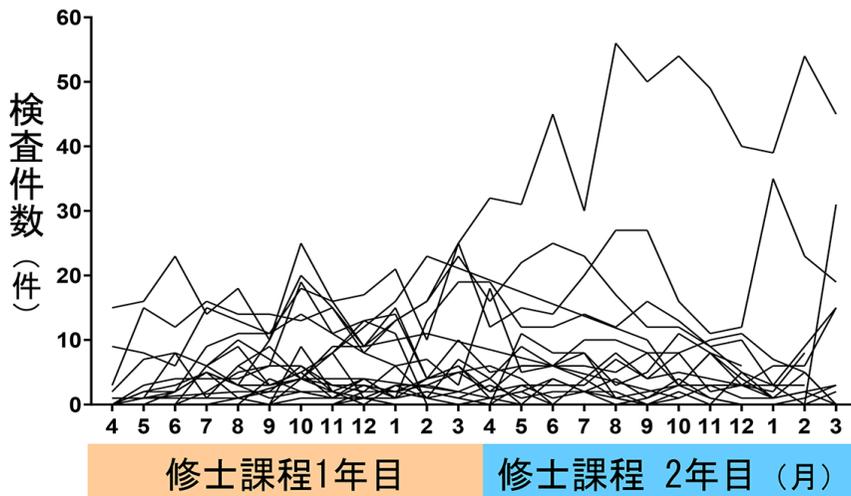


図2 大学院生の修士課程在籍中(2年間)の月別心エコー検査施行件数の推移

各線は1名の大学院生を示す(n = 26)。横軸は修士課程在籍期間(月単位)、縦軸は各月に施行した心エコー検査件数(件)を表す。

反面、平均すると100例程度に留まった。また、北大病院での実務研修を通して修得した専門性を活かし、非常勤として外部医療機関で超音波検査を含む臨床検査に従事する大学院生もいる。令和

6年度には、全員が市内クリニックに出向いており、うち1施設とは共同研究も行った。大学病院と市中病院では、検査対象となる患者背景が異なるため、双方で研鑽を積むことは、経験の

幅を広げる上で貴重な機会となっている。

心エコー室では定期的に読影カンファレンスが開催されている。循環器内科の医師と超音波センターの技師および我々教員や大学院生らが参加し、日常の悩ましい症例について議論するカンファレンスは、毎週水曜日8時から、および金曜日19時から行われる。加えて、毎週金曜日17時から、放射線診断科の医師が参加する画像カンファレンスが行われ、CTやMRIを含むマルチモダリティの議論がなされる。また、小児カンファレンスは、月2回ほど金曜日18時から行われ、小児科の医師より複雑心奇形の病態や評価のポイントについて指導を受ける。大学院生は、自らの検査症例の動画像を提示し、その所見についての議論に供する。これを通じて、画像の読影やプレゼンテーションの能力を磨くことができる。

II. 超音波医学研究

当研究室の研究は、北大病院の患者データを用いた研究、健常ボランティアを対象とする研究、市中病院との共同研究、分野の垣根を超えた共同研究に大別される。入学時には、学生自身が研究のためのデータを取得することが技術的に難しいため、既存の動画像を後方視的に解析することにより解明できそうな課題をテーマとすることが多い。ただし、データを取得するだけの力量を身につけることができたら、教員やスタッフとともに学生自らが研究のためのデータ取得を行うこともある。これまでの修士論文と博士論文の表題を表1に示す。全員が規定の期間内に修了した。このうち、修士課程の研究成果を英文論文化できたのは9編^{4)~12)}であり、学生が筆頭著者として執筆した論文は8編であった。博士課程では、在学中に少なくとも1編の英文論文が学術雑誌に採用されることが修了要件となるが、全員がこれを満足した^{13)~20)}。

2025年に改訂された米国心エコー学会の右心系評価に関するガイドラインに、当研究室の論文⁶⁾が引用された。当研究室から発信された超音波検査を用いた計測法・診断法に関するエビデンスが診療ガイドラインに採用され、超音波医学の

進歩と検査精度の向上を通じて医療に貢献することは重要な目標のひとつである。

III. 修了生の進路

これまでの16年間に、26名の修士修了者と5名の博士修了者(うち3名は社会人)を輩出した。修士修了者中、25名は内部進学であり、1名は外部教育機関からの進学であった。修士課程を修了した26名の進路は、15名が病院就職、8名が企業就職、3名が博士後期課程進学であった。病院に就職した学生はそのほとんどが生理機能検査室に配属され、多くが超音波検査に従事している。なお、修士課程修了者26名のうち、これまでに少なくとも15名が日本超音波医学会認定超音波検査士の資格を取得し、2名がその上位資格である日本心エコー学会認定専門技師の資格を取得した。企業に就職した修了生も、ほとんどが超音波検査機器メーカーに入社しており、在学中の研究と臨床研修の経験を企業内でも活かしている。最近では、修了後にハイボリュームセンターで4年間の心エコーの臨床経験を積み、超音波検査士資格を取得した後、外資系企業の弁膜症治療領域のクリニカルスペシャリストへ転職した修了生もいる。学位と高度な臨床スキルを兼ね備えることが、キャリア形成に資することを示す一例であり、今後の後進にとって新たなモデルとなる。博士後期課程修了者は、病院の管理職や教育・研究職につき、超音波検査の実務と研究の双方に携わっている。

IV. 今後の展望

近年、超音波検査領域においてもAIの社会実装が進み、計測の自動化や読影補助を担うアプリケーションが普及しつつある。しかし、ソノグラファーがAIに完全に置き換えられることは考えにくい。綺麗な画像が得られなければ、AIを適用することはできないからである。また、AIの出力が誤っていた場合に、それを見抜き修正できるのは、知識と経験を備えたソノグラファーの判断力に他ならない。したがって、今後も「綺麗な画像を取得する」という基本姿勢と「画像から病態を紐解く高度な思考(考えて撮るエコー)」の習得

表1 これまでの修士論文と博士論文

修士課程	
1期生	二次元スペクトルトラッキング法による総頸動脈の局所壁伸展性評価の試み
1期生	健常人における左室拡張機能障害の機序：二次元スペクトルトラッキング法による心筋弛緩速度とその同期性の分析に基づく検討 ⁴⁾
2期生	左室収縮障害患者における左室後壁の内方への屈曲・突出現象の頻度、機序および臨床的意義についての検討
2期生	組織ドブラ法による拡張早期僧帽弁輪運動速度と左室心筋弛緩との関係：二次元スペクトルトラッキング解析に基づく検討 ⁵⁾
3期生	収縮性心膜炎の心エコー診断における肺動脈逆流速度波形分析の意義 ⁶⁾
4期生	肺高血圧症の診断における連続波ドブラ法による肺動脈逆流の流速計測の意義
5期生	連続波ドブラ法による肺動脈逆流流速波形にみられる心房収縮期窪みとその近傍の波形変化
5期生	大動脈弁狭窄症患者の心不全発生機序における左室肥大と左室拡張障害の意義
6期生	心エコー法による肝硬変患者の心形態・機能異常の検討
6期生	機能的三尖弁逆流の成因と機序の分析
7期生	腎障害の合併が大動脈弁狭窄症患者の左室の形態と機能に及ぼす影響
7期生	高度三尖弁逆流が連続波ドブラ法による収縮期右室-右心房較差計測に及ぼす影響とその対策 ⁷⁾
8期生	肺動脈逆流速度を用いた肺動脈拡張期圧と肺動脈楔入圧の非侵襲的推定法の研究 ⁸⁾
8期生	心エコー法による肺高血圧症の診断と病型分類の研究
8期生	心不全患者における低心拍出量と静脈圧上昇の肝・腎障害との関係
9期生	肺動脈逆流速度計測に基づく肺血管抵抗の非侵襲的推定：肺高血圧症の多様な病態に対応し得る方法論の検討
11期生	三次元スペクトルトラッキング心エコー法を用いた肥大大心における左房心筋メカニクスに関する研究 ⁹⁾
12期生	心エコー法による右室後負荷の非侵襲的評価法に関する研究
12期生	心エコー法を用いた右室硬さ評価の心不全患者の予後予測における有用性 ¹⁰⁾
13期生	心エコー法による左房硬さの非侵襲的評価法の検討 ¹¹⁾
13期生	左心不全に起因する肺高血圧症患者における左房機能と予後との関連
13期生	前毛細管性肺高血圧症患者における左心機能障害の機序と評価法
14期生	超音波法を用いた心不全患者のうっ血肝診断
15期生	前毛細管性肺高血圧症患者における肺動脈逆流速度波形分析に基づく右室スティフネス評価法：右室拡張期圧-容積関係を用いた検証 ¹²⁾
15期生	心エコー法による左心不全患者の右室後負荷の包括的評価法に関する研究
16期生	経胸壁三次元心エコー法を用いた三尖弁逆流重症度評価と三尖弁複合体の形態学的評価に関する研究
博士論文	
1期生	大動脈弁狭窄症の心エコー法による重症度評価とその病態との関係 ¹³⁾
1期生	頸動脈エコー法による危険なプラーク病変の診断 ¹⁴⁾¹⁵⁾
2期生	スペクトルトラッキング心エコー法を用いた心筋機能分析に基づく左室拡張機能の研究 ⁵⁾¹⁶⁾
5期生	超音波パルスドブラ法を用いた腎循環動態の分析 ¹⁷⁾
12期生	心不全患者における心エコー法を用いた血行動態評価法に関する研究 ^{18)~20)}

文献番号は、それぞれの学位論文に関連する内容で公表された英文論文を表す。

は重要であり続けるだろう。さらに、弁膜症に対する低侵襲治療が急速に発展する現在、経食道心エコー等の特殊検査に精通したソノグラファーの重要性は一層高まっている。医学の進歩に対応するためには、我々も常に学び続けると同時に、大学院生が実践的かつ先進的な技術を修得できる教育体制を整えていくことが今後の課題である。

教育制度において、岡山大学における修士・博士一貫制の超音波検査士育成コースに学ぶ点が多い²¹⁾。超音波検査士の受験資格には3年以上の学会会員歴が求められるため、同大学では修士課程から博士課程へ円滑に進学できる仕組みを整え、在学中に十分な研修期間を確保している。この制度は、学位取得と専門資格取得の両立を可能にし、大学にとっては博士課程進学者の増加、学生にとっては研究能力と高度医療専門職としての認定資格取得という双方のメリットをもたらしている。本研究室においても、実学教育と研究指導の融合を基盤としながら、今後の制度設計を検討する上で参考としたい。

おわりに

本総説では、当研究室における大学院教育と超音波医学研究の一端を紹介した。北大病院心エコー室には、循環器内科の医師と超音波センターの技師に加え、教員と大学院生が日常的に関わり、臨床・教育・研究を協同して行う環境が構築されている。この体制の礎を築いたのは、病院心エコーグループと当研究室の立ち上げに尽力された故・三神大世先生であり、現在に至る当研究室の教育・研究活動の根幹を形づくられた。その後の体制の維持と発展においては故・小野塚久夫先生のご尽力、および他大学に活躍の場を移された岡田一範先生の存在がある。臨床検査技師は、検査データの取得と読解の両面において高度な能力を求められ、研究を担う素地を備えた専門職である。当研究室では、検者依存性が大きい超音波検査について、その適切な実施と正確なデータの提供、それを用いた研究の企画や実施、およびこれらの教育をも担うことのできる人材の育成を目指している。今後も、本研究室で培われてきた教育・研究

の理念と実践が引き継がれ、次世代の人材育成と超音波医学の発展に寄与し続けることを願う。

文 献

- 1) 令和5年度会員意識調査, 令和5年度 各種報告書, 日本臨床衛生検査技師会, 2023; p93-114.
<https://www.jamt.or.jp/data/asset/docs/470394890af12f9077ffc5a1c9ba63000e4f1dc0.pdf>
- 2) 会員組織実態調査(平成27年アンケート調査), 平成27年度 各種報告書, 日本臨床衛生検査技師会, 2015; p3(会員意識調査).
http://www.jamt.or.jp/data/asset/docs/h27_statistics_report.pdf
- 3) 岡田一範, 加賀早苗, 政氏伸夫, 三神大世, 中鉢雅大, 村山迪史, その他. これからの超音波検査を牽引する人材の育成を目指す大学院教育. 臨床検査学教育 2019; 11: 219-26.
- 4) Nakabachi M, Mikami T, Okada K, Onozuka H, Kaga S, Inoue M, et al. Overweight causes left ventricular diastolic asynchrony and diastolic dysfunction: a study based on speckle tracking echocardiography in healthy subjects. J Echocardiogr 2012; 10: 83-9.
- 5) Okada K, Mikami T, Kaga S, Onozuka H, Inoue M, Yokoyama S, et al. Early diastolic mitral annular velocity at the interventricular septal annulus correctly reflects left ventricular longitudinal myocardial relaxation. Eur J Echocardiogr 2011; 12: 917-23.
- 6) Kaga S, Mikami T, Takamatsu Y, Abe A, Okada K, Nakabachi M, et al. Quantitative and pattern analyses of continuous-wave Doppler derived pulmonary regurgitant flow velocity for the diagnosis of constrictive pericarditis. J Am Soc Echocardiogr 2014; 27: 1223-9.
- 7) Hioka T, Kaga S, Mikami T, Okada K, Murayama M, Masauzi N, et al. Overestimation by echocardiography of the peak systolic pressure gradient between the right ventricle and right atrium due to tricuspid regurgitation and the usefulness of the early-diastolic transpulmonary valve pressure gradient for estimating pulmonary artery pressure. Heart Vessels 2017; 32: 833-42.
- 8) Murayama M, Mikami T, Kaga S, Okada K, Hioka T, Masauzi N, et al. Usefulness of the continuous-wave Doppler-derived pulmonary arterial-right ventricular

- pressure gradient just before atrial contraction for the estimation of pulmonary arterial diastolic and wedge pressures. *Ultrasound Med Biol* 2017; 43: 958-66.
- 9) Yanagi Y, Okada K, Kaga S, Mikami T, Aiba M, Masauzi N, et al. Difference in left atrial myocardial dynamics during reservoir phase between hypertrophic cardiomyopathy and hypertensive heart determined using three-dimensional speckle tracking echocardiography. *Int J Cardiovasc Imaging* 2022; 38: 1781-91.
 - 10) Fujisawa R, Okada K, Kaga S, Murayama M, Nakabachi M, Yokoyama S, et al. Prognostic value of an echocardiographic index reflecting right ventricular operating stiffness in patients with heart failure. *Heart Vessels* 2022; 37: 583-92.
 - 11) Abe T, Okada K, Murayama M, Kaga S, Nakabachi M, Yokoyama S, et al. Usefulness of the pulmonary venous flow waveform for assessing left atrial stiffness. *Int J Cardiovasc Imaging* 2023; 39: 23-34.
 - 12) Nagai Y, Murayama M, Kaga S, Shima H, Tsuneta S, Yokoyama S, et al. Echocardiographic estimation of right ventricular diastolic stiffness based on pulmonary regurgitant velocity waveform analysis in precapillary pulmonary hypertension. *Int J Cardiovasc Imaging* 2024; 40: 1123-34.
 - 13) Abe A, Mikami T, Kaga S, Tsuji K, Okada K, Yokoyama S, et al. Coexisting cardiac diseases and pressure recovery phenomenon contribute to discrepancy between echocardiographic severity of aortic stenosis and left ventricular hypertrophy. *J Echocardiogr* 2013; 11: 41-9.
 - 14) Muraki M, Mikami T, Yoshimoto T, Fujimoto S, Tokuda K, Kaneko S, et al. New criteria for the sonographic diagnosis of a plaque ulcer in the extracranial carotid artery. *AJR Am J Roentgenol* 2012; 198: 1161-6.
 - 15) Muraki M, Mikami T, Yoshimoto T, Fujimoto S, Kitaguchi M, Kaga S, et al. Sonographic detection of abnormal plaque motions of the carotid artery: Its usefulness in diagnosing a series of high-risk lesions ranging from plaque rupture to ulcer formation. *Ultrasound Med Biol* 2016; 42: 358-64.
 - 16) Okada K, Mikami T, Kaga S, Nakabachi M, Abe A, Yokoyama S, et al. Decreased aorto-septal angle may contribute to left ventricular diastolic dysfunction in healthy subjects. *J Clin Ultrasound* 2014; 42: 341-7.
 - 17) Kudo Y, Mikami T, Nishida M, Okada K, Kaga S, Masauzi N, et al. Altered oscillation of the Doppler-derived renal and renal interlobar venous flow velocities in hypertensive and diabetic patients. *J Med Ultrason* 2017; 44: 305-14.
 - 18) Murayama M, Okada K, Kaga S, Iwano H, Tsujinaga S, Sarashina M, et al. Simple and noninvasive method to estimate right ventricular operating stiffness based on echocardiographic pulmonary regurgitant velocity and tricuspid annular plane movement measurements during atrial contraction. *Int J Cardiovasc Imaging* 2019; 35: 1871-80.
 - 19) Murayama M, Iwano H, Nishino H, Tsujinaga S, Nakabachi M, Yokoyama S, et al. Simple two-dimensional echocardiographic scoring system for the estimation of left ventricular filling pressure. *J Am Soc Echocardiogr* 2021; 34: 723-34.
 - 20) Murayama M, Kaga S, Okada K, Iwano H, Nakabachi M, Yokoyama S, et al. Clinical utility of superior vena cava flow velocity waveform measured from the subcostal window for estimating right atrial pressure. *J Am Soc Echocardiogr* 2022; 35: 727-37.
 - 21) 渡辺彰吾, 佐藤生弥, 山元修成, 廣畑 聡. 大学院および院修了後教育の在り方 - 修士 - 博士一貫性の超音波検査士育成コースの紹介 -. *臨床検査学教育* 2025; 17: 42-6.