

06.

乳腺・甲状腺

年表（乳腺・乳腺甲状腺）

1880年	圧電効果発見（Curie兄弟）
第1次世界大戦	ソナーの発明（Langevin）
1935年	圧電セラミックスの発明
第二次世界大戦	軍事応用
1947年	医学への応用（Dussik KT）
1950年	Aモードを乳房に応用（WildとNeal, 和賀井）
1952年	Bモード法の開発（Wild, Reid）
1954年	乳癌の輪郭を捉えることに成功（Howry）
1956年	水浸式機械走査式乳房超音波検査で早期乳癌の診断に成功（和賀井敏夫ら）
1957年	超音波ドブラの開発（里村）
1960年	世界で初めて乳癌の診断基準を提案（和賀井）
1964年	乳癌のほとんどが低エコーを示すことを発表（高田貞夫）
1966年	乳腺症を線状像, 小点状像, 混合型に分類（和賀井） 線維組織が超音波の減衰をきたすことを発見（吉岡勝哉と大村彰） 悪性腫瘍では超音波の減衰が強いことを発見（Kelly-Fry E） 甲状腺に超音波を臨床応用（藤本吉秀）
1967年	階調性超音波断層像を開発（井出ら）
1968年	セクタ式乳房超音波検査の開発（WellsとEvans） 乳癌の周囲のコロナ状の反射量を発見（高田貞夫） 乳癌の観察所見: 音響陰影, 反射暈, 輪郭, 境界エコーの4点を列挙（高田）
1971年	リニア電子スキャナの発明（内田, 萩原, 入江）
1973年	膠原線維が超音波の減衰をきたすと報告（FieldとDunn） リニア電子スキャナの発明（Bom）
1974年	tadpole-tail sign, acoustic middle shadow signの提唱（小林利次）
1975年	対数アンプを用いたグレースケール表示の開発（KossoffとJellins） 反射暈をhaloと呼称（竹原） 連続的超音波断層法の開発（和賀井） メカニカルリニアアークスキャナによる乳癌検診（堤, 和賀井）
1977年	5項目を所見として列挙①内部エコー, ②境界エコー, ③後方エコーの陰影, ④病変部の形状と位置, ⑤周囲組織の変化（Jellins, Kossoff, Reeve） ドブラを乳房に応用（Wells）

1979年	<p>乳癌の膠原線維が超音波の減衰をきたすことを発見（小林利次） 超音波診断学を系統的に構築（小林利次） ①界エコーと形状，②内部エコー，③後方エコーの陰影の3項目 非浸潤癌の拡張乳管の描出に成功（Jellins, Kossoff, Reeve）</p> <hr/> <p>第1回国際乳房超音波診断会議 First International Congress on the Ultrasonic Examination of the Breast（Goldberg）</p>
1980年	<p>ポリフッ化ビニリデン（PolyVinylidene DiFluoride, PVDF）を用いて振動子が 5MHzから7.5MHzに向上（大東）</p>
1981年	<p>浸潤性乳管癌の亜型3型と超音波画像が関連付けられた（植野映，伊東統一， 斎藤建） 超音波誘導下細胞診を考案（貴田岡） 減衰型，中間型，増強型の3型の分類（植野，伊東）</p>
1982年	<p>陰影型，中間型，分解型の3型の分類（霞富士雄，佐久間） 時計盤面法による位置表示の提案（横井）</p>
1983年	<p>縦横比の提唱（加藤保之，藤本泰久） リアルタイム式超音波による診断基準（Catherine M Cole-Beuglet, Goldbergら） ①形状，②辺縁，③内部エコー，④境界エコー，⑤減衰効果 腫瘍以外の所見として①組織構築の乱れ，②Cooper靱帯の異常，③皮膚の変化， ④リンパ節の腫大 腫瘍像非形成型 Non tumor-image forming type と腫瘍像形成型 tumor-image forming type との分類を提唱（植野，東野） 胸骨傍リンパ節の描出（高橋朗，小西豊） カラードブラの発明（滑川） 第3回国際乳房超音波診断会議（和賀井，小林利次）</p>
1984年	<p>メカニカルセクター高周波超音波診断装置によるリアルタイム診断（斎藤毅， 植野，浅岡）</p>
1985年	<p>乳管の機械式超音波診断装置による Mapping method の考案（植野，高崎） リアルタイム超音波を検診に導入（植野，東野，龍崎）</p>
1986年	<p>腫瘍像非形成性型を①正常型，②豹紋状型，③乳管拡張型の3型に亜分類（植野） DCISとしての多発小嚢胞像を提唱（佐久間）</p>
1987年	<p>動的検査の考案（植野，東野，Bamber） 前方乳腺境界線の断裂の提案（小西） 乳管内成分の描出に成功（角田，植野） 10MHzのメカニカルセクターの開発（山崎，平田） 超音波誘導下切開生検（色素法）（植野） 対策型乳癌検診に超音波を導入（森久保，高田） 局所進行乳癌にカラードブラを応用（福成，川内）</p>
1988年	<p>Ductal Echography を提唱（Michel Teboul）</p>

1989年	日本超音波医学会が乳房の超音波診断基準を公示（霞，横井浩，平田経雄） カラードブラで乳癌の早期診断（Cosgrove）
1990年	カラードブラ研究部会を設立（植野，川内，小西）
1991年	Annular array振動子のメカニカルセクターを開発（竹原，川内，久保田ら） 第7回国際乳房超音波診断会議（東京） エラストグラフィの提案（Ophir）
1993年	超音波誘導下吸引式組織生検生検（Parker）
1994年頃	All-digital 超音波診断装置の開発（ATL）によりカブラが消失
1994年	選択的副甲状腺PEIT（貴田岡）
1996年	Strain Elastography の発明（椎名）
1997年	コンピュータ診断支援システム（CadTs-1）の開発（長澤）
1998年	日本乳腺甲状腺超音波診断会議発足
1999年	甲状腺結節（腫瘍）超音波診断基準公示（植野ら）
2001年	第1回乳房超音波検診従事者講習会（茨城県・JABTS 共催）
2003年	第13回国際乳房超音波診断会議（京都） エラストグラフィの臨床応用（伊藤，植野，東野） 日本乳腺甲状腺会議の国際支援（高田ら）
2004年	センチネルリンパ節生検の超音波造影の開発（尾本ら） 光ディスクを用いたRapidViewing（高田ら）
2005年	乳腺疾患超音波診断のためのガイドライン —腫瘍象形成性病変について—（植野，川内，遠藤ら）
2007年	Shear Wave Elastography の発明
2009年	エラストグラフィにおけるFLRの開発（植野，脇）
2011年	甲状腺結節（腫瘍）超音波診断基準公示（貴田岡ら） 福島原発事故後の甲状腺スクリーニング開始（鈴木ら）
2012年	超音波造影剤ベルフルブタンが乳房に承認（宮本ら）

06.

乳腺・甲状腺

乳腺・乳腺甲状腺超音波検査の歴史

植野 映

(筑波メディカルセンター病院)

乳腺・甲状腺を中心として体表臓器の超音波診断学は発展してきた。体表臓器としてはそれ以外に副甲状腺、唾液腺、リンパ節などが入る。これらの臓器は表在に存在することから、焦点の合わせ方、減衰の程度等診断装置の設定に共通点が多いことから一般的には体表臓器超音波検査、さらにインパクトを強くして乳腺・甲状腺超音波診断といわれる。

体表臓器超音波検査のはじまり

Curie 兄弟が発見した圧電効果はその弟子の Langevin により超音波測深機として実用化された。その後、第二次世界大戦ではソナーとして活躍したが、戦後は医学などの平和利用にされるようになった。医学への応用は1947年のオーストリアの Dussik の透過法に始まっている。その後、Wiledらはパルス反射法によるAモードを乳房に応用し、その成果を1951年に初めて論文として発表した¹⁾。この時の診断方法はAモードで得られた乳房内の振幅のラインと基線とで取り囲まれた部分の面積を腫瘍部と正常部とでそれぞれ算出し、腫瘍部の値を正常部の値で除した面積比が1以上の場合を悪性とする手法であった。1952年には Wild らは水嚢を用いたBモード法の開発を行っているが、周波数が高く、2cmの深さまでしか観察できなかったようである。そのころ、日本では独自に診断用の超音波機器の開発がなされていた。興味あることに他国と同じく最も検査の困難な脳からの応用に始まり、次に乳房へと進んで

いる。この研究は1950年9月に開始され、1956年に菊地らによって第2回国際音響学会において超音波による早期乳癌の診断として発表されている²⁾。走査方法は水浸機械走査式で水嚢を用いる方法がこの時に確立された。しかしながら、STCも考案されていなかったため深部に存在する乳癌はエコーレベルが低いと考えられていた。また、振り返ってみると乳癌の前方の境界部の高エコーのみを痛としてとらえていたようにも見受けられる。

感度断層法の開発

1960年代後半は国内において感度断層法が盛んとなり乳腺及び甲状腺の各所見について議論されている。高田は乳癌の内部エコーは高くなく、ほとんどの症例が透明像を示すと世界で初めて発表した(1965年)³⁾。和賀井は超音波での乳腺症の分類を行い、線状像、小点状像、混合型とした⁴⁾。また、感度断層法の臨床的評価を行い乳癌の正診率は約90%であると報告した。この頃に超音波組織特性の研究が進み、吉岡らは生体軟部組織は線維質になると超音波の吸収が増加することを発見した(1966年)⁵⁾。これは超音波研究会資料に掲載されているのみで国際的な論文となっていないのが甚だ残念なことである。1973年にはFieldとDunnは体積弾性率と反射率について研究し、生体では膠原線維の存在が超音波断層像の形成に関係が深いことを報告した⁶⁾。

急速な装置の発展

装置の発展もめざましく、井出らは階調性断層像を開発した(1967年)⁷⁾。

1968年にはWellsとEvansらが腹臥位にてタンク内に乳房を浸し、セクタ式に走査する方法を開発した。これらの開発が進む中で臨床研究は更に飛躍し、1968年に高田は乳癌の周囲にはコロナ状の反射量が存在することを発表し、これは硬癌が周囲に浸潤性に増殖し周囲組織と腫瘍組織とが密に入り込んでいるためであるとした。また、乳癌も減衰を強くきたすことを強調した。そして乳腺腫瘍の観察所見として音響陰影、反射量、輪郭、境界エコーの4点を挙げた。更に実質性腫瘍の内部エコーは単なる透明像ではなく、弱いエコーが存在することも報告した³⁾。

1970年代に入り、手動接触複合走査法やアークスキャンが開発され、このころにアロカの内田、萩原、入江らがリニア電子スキャナを発明した(1971年)⁸⁾。しかしながら、一部の施設では乳房に応用を試みたものの解像度が機械式走査法より劣るため、体表では主たる方法とはならなかった。

KossoffとJellins(豪州)はグレースケール開発し⁹⁾。この装置を用いて彼らは乳腺腫瘍の内部エコーの重要性を説いた。この原理は階調性断層法と同じであるが国際発表がなされていなかったためにこの論文がグレースケールの始まりと国際的には認識されている。また、KossoffはOctosonを1976年に開発し、その再現性と利便性の優越性から話題となった。しかしながら、高価なことと標的病変の解像度の低さから普及には至らなかった。この頃に、超音波は甲状腺にも応用されるようになった。直江らは甲状腺の音響インピーダンスの測定を行い、甲状腺疾患への応用を模索し¹⁰⁾、石原らは超音波で甲状腺の体積の測定を行った¹¹⁾。次に藤本は詳細な検討を行い、甲状腺癌の診断基準をまとめた¹²⁾。

臨床応用の展開と国際交流

小林利次は豊富な臨床例をもとにtadpole-tail sign, acoustic middle shadow signを提唱し、用語が印象的なことから国際的にも一世を風靡した^{13,14)}。その3年後にJellins(豪州)らが限局性病変の所見として5項目、①内部エコー、②境界エコー、③後方エコーの陰影、④病変部の形状と位置、⑤周囲組織の変化を提唱した¹⁵⁾。竹原は反射量を見直し、haloとしてあらたな呼称を提唱し、広く使われるようになった¹⁶⁾。

小林利次は乳癌内の膠原線維が超音波の減衰をきたすことを発見し、①境界エコーと形状、②内部エコー、③後方エコーの陰影の3項目で診断基準を作成し、診断学を系統的に築き上げた。各国で乳房の超音波検査法が発展を遂げており、この分野での国際交流の必要性が高まったことからGoldberg, Kossoff, Wells, 和賀井, 小林らが国際会議を開くことに賛同し、第1回国際乳房超音波診断会議が1979年にGoldbergによりフィラデルフィアで開催された。

振動子の高周波化と診断基準の作成

1980年、大東は高分子圧膜(PVDF)を用いて振動子の高周波化に道を開いた。5MHzから7.5MHzとなり、距離分解能が飛躍的に向上した¹⁷⁾。小林正幸はこれを用いて臨床経験を重ね有効であることを報告した¹⁸⁾。Harperは若年者にはマンモグラフィと異なり超音波検査が有効であることを報告した¹⁹⁾。この頃に多くの臨床医より乳癌の診断基準あるいは分類が提案された²⁰⁻²⁷⁾。これらの知見を統合して超音波医学会では、霞を中心として静止画像での乳房超音波診断基準がまとめられた²⁸⁾。

症候性の腫瘍の診断基準が確立されながらも、一方では、無症候性あるいは触知しない病変の診断が模索されていた。植野らは異常乳頭分泌の

Mapping methodを考案し、乳管拡張の描出と病変の位置決め成功した³⁰⁾。それを契機に乳癌には腫瘤像を呈さずに豹紋状あるいは拡張乳管の形態を示すものも検出されるようになり、植野、東野はこれらを区別するために腫瘤像非形成型Non tumor-image forming typeと腫瘤像形成型tumor-image forming typeとに分類し^{23,30)}、腫瘤像非形成型をさらに①正常型、②豹紋状型、③乳管拡張型の3型に亜分類した³¹⁾。この頃、1983年に和賀井、小林利次が第3回国際乳房超音波診断会議を東京にて開催した。

リアルタイム乳房超音波の台頭

1984年、植野らは眼科用に開発されたメカニカルセクター式の高周波超音波診断装置(7.5MHz)に着目し、これを乳房に応用したところ、好結果が得られ³²⁾、また、安価なことから瞬く間に全国に広がった。Kossoffによっても第4回国際乳房超音波診断会議にメカニカルセクター式small parts scannerとして発表され³³⁾、乳腺甲状腺の主流はセクター式のリアルタイム超音波へと転換した。リアルタイム超音波は今までの検査方式を一新した。画質は静止画像より若干劣るものの、腫瘍の立体的な把握、周囲組織との関連性の評価、触知しない病変の検出が容易など多くの利点をもたらした。植野、東野らは動的検査を考案し、癌は硬く、可動性に乏しいことを証明した³⁴⁾。小西らは、乳癌は乳腺の前方に浸潤することが多いことを発見し、その所見を悪性の所見と位置付け、乳腺の前方の境界線の断裂として報告した³⁵⁾。また、異常乳頭分泌症の拡張乳管はその方向に沿って描出されるようになり³⁶⁾、また、小西らは所属リンパ節の評価を開発した^{37,38)}。

平田らは10MHzの単振動子のトランスデューサーを開発し、画質を向上させ³⁹⁾、竹原らは、アニュラーアレイ⁴⁰⁾の振動子をメカニカルセクターに搭載し、更に高画質の画像をリアルタイムに得ることに成功した⁴¹⁾。位置の表示法にも変化が見

られた。横井は、時計盤面法による時間軸で位置の表示を提案した⁴²⁾。

乳管内の増殖性成分の描出

角田は乳癌の周辺に乳管の拡張があることを世界で最初に発見し、それを病理組織像と対比して乳癌の乳管内成分であることを証明し、乳房温存療法ではこの部分の切除が必要であることを示した^{43,44)}。TeboulはラジアルスキヤニングをDuctal Echographyと提唱し、乳管の描出に成功した⁴⁵⁾。神尾孝子は腫瘤を触知しない乳頭異常分泌症例に対して超音波検査を行い、良性の画像と悪性の画像とに分類した⁴⁶⁾。ドイツのハイデルベルグで開催された第8回国際乳房超音波診断会議では、これらの発表が花開き、Teboulは“Japan's day”と称して日本の診断技術を絶賛した。

インターベンショナル超音波の発展

インターベンショナルの技術は、甲状腺癌の診断から始まっている。当時は、甲状腺は超音波のみでの診断は難しく細胞診に頼るところが大きかったためである。より安全により正確にとの観点から貴田岡らにより交叉法のフリーハンド超音波誘導下穿刺術⁴⁷⁾、川内らのガイドアタッチメントを使った同一平面法による超音波誘導下穿刺術が1981年に考案された⁴⁸⁾。特に甲状腺の超音波スクリーニングが開始された1980年代には触知しない腫瘤が多く発見され、東野らは超音波誘導下吸引細胞診で微小癌を多く発見した⁴⁹⁾。

この技術は乳房へも波及し、非触知の乳癌が検出されるにつれて超音波誘導下の切開生検が開発された。当初は、フックワイヤーを超音波誘導下に挿入してその部位を生検する方法であったが、植野により超音波誘導下に色素を注入して生検する方法が考案された⁵⁰⁾。その後、針生検がParkerにより開発され、超音波誘導下にも施行されるよ

うになった⁵¹⁾。日本にはOhにより1996年に紹介され、水谷らが翌年に報告している⁵²⁾。乳癌の治療に際してはIntrinsic subtypeの所見が術前に要求されるようになってからはその需要は急速に増加した。更に良悪の境界域の病変では大きな組織が病理診断では必要となり、吸引式組織生検がParkerらにより超音波誘導下に行われるようになった⁵¹⁾。

カラードプラ法の応用

ドプラ超音波診断法は1957年の里村のドプラによる血流速度の測定にまで遡る。乳房に応用したのは1977年のWellsが最初である。彼は10MHz連続波ドプラで乳癌に流入する血管のドプラ信号を聴取し、その有効性を報告した。

カラードプラ法は滑川により発明され⁵³⁾、甲状腺、乳癌の分野でも1987年に福成、川内らが初めて乳房に使用し、局所進行乳癌においては化学療法の効果判定に利用できると予想している⁵⁴⁾。徐々に低流速も表示されるようになり、乳癌は血流量に富むとCosgroveが1989年に国際乳房超音波診断会議で初めて早期診断に有効と報告した⁵⁵⁾。この報告を受けて、国内では植野、川内、小西らがカラードプラ法の乳癌部会を1990年に結成し、本研究部会を年に4回の頻度で開催し、詳細な検討を行った⁵⁶⁾。

フルデジタル超音波診断装置

フルデジタルの診断装置が開発され、近距離音場でのフォーカシングが可能となった。これによりカブラは不要となり操作性が一段と向上した。超音波誘導下の穿刺の操作性は更に増し、それまではガイドのためのアタッチメントは不要となった。また、リニア電子スキャンは10MHz以上となり、アニュラアレイのメカニカルセクタースキャンに取って代わるところとなった。

組織としての動き

本学会では、1982年に乳癌研究部会が設けられ、初めに小林利次が部会長を務め、乳癌の超音波診断について活発に討議された。その後、霞が後継し、甲状腺も含む体表臓器全般の研究部会となった。当時は乳癌の診断基準を模索しており、諮問機関として診断基準の検討を行った。診断基準が定まった後は、興味ある症例の超音波画像の検討を行った。1989年以降はテーマを決めて研究部会を運営し、新体制では、カラードプラをテーマとして植野、川内、小西が歴任し、その後CADの検討を久保田が行った。医学全般として臓器別の学会が発展する中で、超音波の研究が特殊化、高度化し、徐々に医療従事者との乖離が目立つようになった。体表臓器のグループでは新たな基礎的な研究と次世代の研究者の育成も兼ねて研究部会の存続を希望していたが、1998年に研究部会が廃止となった。体表の超音波医学の衰退を危惧した植野は、遠藤、久保田、小西に相談し、甲状腺も含めた研究会の発足を提案して、貴田岡、佐久間を招いて日本乳腺甲状腺超音波診断会議を設立した⁵⁷⁾。この会議の発足により超音波離れが体表臓器ではくい止められ、現在の隆盛を見ている。

HIFUの発展

乳癌へのHIFUの利用は1980年代に実験はされていたが⁵⁸⁾、倫理的な側面を克服することは難しく実用化には至らなかった。GienfeliceはMRIガイド下のHIFUを発明し⁶⁰⁾、現在は第3層試験に入り、国内では古沢らが関与して行っている⁶¹⁾。

組織弾性映像法の開発

硬さを画像的に描出しようとしたのがOphir⁶¹⁾である。その後、椎名が硬さを描出する複合自己相関法を考案⁶²⁾し、2003年に世界で初めて臨床

的に植野、伊藤らが実用化に成功した⁶³⁾。当初は、浸潤性乳管癌の症例から始まり、試行錯誤の中でも非浸潤癌の描出にも成功した。その後、臨床データを積み重ねその成果が現在のTsukuba Elasticity Score⁶³⁾であり、FLR⁶⁴⁾である。一方、フランスではShear waveを利用したエラストグラフィが開発された。日本で開発された装置は今ではStrain Elastography (SE)と呼ばれ、フランスで開発された装置はShear Wave Elastography (SWE)と呼ばれる。おおまかな解釈としてSEは圧迫を加えた時の歪みの量をカラー化して表示したもの、SWEは、横波の組織内の通過速度を測定し、それから弾性率を導き出したものである。SWEでは定量性を追求する動き⁶⁵⁾とパターンで診断する方法とがある⁶⁶⁾。

最後に

今までの国内での報告には世界初あるいは最先端のものが多い。しかしながら、日本で発表しながら国際学会あるいは英文誌に掲載していない多くの業績が超音波医学会にはうずもれている。日本の国内で発表した報告を国際学会に発表してもこれは二重投稿にはならない。また、海外の研究者も英文での発表を待ち望んでおり、よく、日本人は英文で報告をしないのかと尋ねられる昨今である。海外の研究者は、彼らに分かるように伝えれば必ずそれには反応する。この小さな島に留まらず若い研究者は海外に出て国際交流を行い、自分自身の成果を発表していただきたい。

歴史を振り返ってみると超音波のブレイクスルーは5年毎に起こっており、もう研究もし尽くしたと思った頃に訪れる。じっくりと腰を落ち着けてNew Waveが到来するのを待つ姿勢も大事である。もちろん、New Waveの震源になればそれにこしたことはない。

文献

- 1) French LA, Wild JJ, Neal D. Attempts to determine harmful effects of pulsed ultrasonic vibrations. *Cancer* 1951;4(2):342-4.
- 2) Kikuchi Y, Uchida R, Tanaka K, et al. Early cancer diagnosis through ultrasonics. *J Acoust Soc Amer* 1957;29:824-33.
- 3) 高田貞夫. 超音波断層写真法による乳腺疾患の診断. *日臨外医学会誌* 1968;29:5-33.
- 4) 和賀井敏夫. 超音波による乳癌の診断法. *臨床外科* 1966;20:1627.
- 5) 吉岡勝哉, 大村彰, 長谷川高陽, ほか. 生体組織の超音波吸収について. *超音波研究会資料* 1966;Oct.
- 6) Fields S, Dunn F. Correlation of echographic visualizability of tissue with biological composition and physiologic state. *J Acoust Soc Am* 1973;54:809-11.
- 7) 井出正男, 増澤信義. 超音波診断装置の階調特性の改善. 第11回日超医論文集 1967;49-50.
- 8) 内田六郎, 萩原芳夫, 入江喬介. 電子走査超音波診断装置. 第19回日超医論文集 1971;65-6.
- 9) Jellins J, Kosssoff G, Reeve TS, et al. Ultrasonic grey scale visualization of breast diseases. *Ultrasound Med Biol* 1975;1:393-404.
- 10) 浅野芳登, 直江照夫, 高野正義, ほか. 超音波よりみた甲状腺腫. 第3回日超医論文集 1963;7.
- 11) 石原明夫, 内藤聖二, 山川邦夫, ほか. 超音波検査法の甲状腺疾患への応用(第1報) - 特に甲状腺重量測定について -. 第6回日超医論文集 1964;35-6.
- 12) 藤本吉秀, 岡厚, 尾本良三, ほか. 超音波による癌の診断 - 甲状腺についての検討. 第9回日超医論文集 1966;87-8.
- 13) 小林利次, 高谷治, 服部信, ほか. 乳腺超音波感度断層法の研究(第2報) - Tadpole-tail Sign with Lateral Shadow(良性)とAcoustic Middle Shadow Sign(悪性)の鑑別診断上の意義とその臨床的評価 -. 第22回日超医論文集 1972;33-4.
- 14) Kobayashi T, Takatani O, Hattori N, et al. Differential diagnosis of breast tumors. The sensitivity graded method of ultrasono-tomography and clinical evaluation of its diagnostic accuracy. *Cancer* 1974;33:940-51.
- 15) Jellins J, Kosssoff G, Reeve TS. Detection and classification of liquid-filled masses in the breast by gray scale echography. *Radiology* 1977;125:205-12.
- 16) 竹原靖明, 渡嘉敷暁, 森田健, ほか. 乳癌のエコーグラムとマンモグラムとの対比 - 主として反射量の成因について -. 第28回日超医論文集 1975;125-6.

- 17) 大東弘二. 高分子圧膜トランスデューサーとその応用. 超音波医学 1980;7:365-70.
- 18) 小林正幸. 早期乳がんの診断. 第40回日超医論文集 1982;15-6.
- 19) Harper AP, Kelly-Fry E, Noe JS. Ultrasound breast imaging—the method of choice for examining the young patient. *Ultrasound Med Biol* 1981;7(3):231-7.
- 20) 小池綏男, 安達互, 石坂克彦, ほか. 乳腺疾患の超音波診断. 信州医学雑誌 1981;29(3):326-33.
- 21) 植野映, 伊東紘一, 斉藤建, ほか. 乳腺疾患の超音波断層像と病理組織像との比較検討. 超音波医学 1981;8(2):123-32.
- 22) Kasumi F, Fukami A, Kuno K, et al. Characteristic echographic features of circumscribed cancer. *Ultrasound Med Biol* 1982;8(4):369-75.
- 23) Ueno E, Tohno E, Itoh K. Classification and diagnostic criteria in breast echography. *Jpn J Med Ultrasonics* 1986;13:19-31.
- 24) 加藤保之, 大北日吉, 藤本泰久, ほか. 乳癌超音波診断の検討. 第43回日超医論文集 1983;639-40.
- 25) 藤本泰久, 加藤保之. 超音波断層像による乳腺腫瘍の弾性に関する検討. 第43回日超医論文集 1983;263-4.
- 26) 霞富士雄. 乳腺超音波診断学. 篠原出版, 1983; p. 24.
- 27) Cole-Beuglet C, Soriano RZ, Kurtz AB, et al. Ultrasound analysis of 104 primary breast carcinomas classified according to histopathology type. *Radiology* 1983;147:191-6.
- 28) 日本超音波医学会用語・診断基準委員会. 乳腺疾患超音波診断のためのガイドライン - 腫瘍像形成病変について -. 超音波医学 2005;32(6):589-94.
- 29) 高崎雅子, 植野映, 東野英利子. 異常乳頭分泌の超音波検査. 第47回日超医論文集 1985;155-6.
- 30) 植野映, 東野英利子, 高崎雅子, ほか. 乳腺疾患の超音波画像分類と診断基準. 第42回日超医論文集 1983;267-8.
- 31) 植野映, 東野英利子, ほか. 乳癌の超音波診断. 画像診断 1986;6:85-185.
- 32) 斎藤毅, 浅岡善雄, 植野映, ほか. メカニカルセクター高速走査装置による乳房超音波検査. 第46回日超医論文集 1985;329-30.
- 33) Kossoff G. Contact and water path technique in the sonographic examination of the breast. *Proceedings of the 4th ICUEB* 1985;117-24.
- 34) Ueno E, Tohno E, Bamber JC, et al. Dynamic tests in real-time breast echography. *Ultrasound Medical Biological* 1988;14:53-7.
- 35) 小西豊, 小縣正明, 黒木輝夫, ほか. 超音波画像上限局性型腫瘍像を示す乳腺症と T1 乳癌の鑑別診断についての一考察. 超音波医学 1988;15:420-7.
- 36) 植野映. リアルタイム乳房超音波診断. 東京, 南江堂, 1991.
- 37) 高橋朗, 小西豊, 黒木輝夫. 超音波による胸骨旁リンパ節の描出 - リンパ節転移の術前診断への応用 - 第1報. 第43回日超医論文集 1983;267-8.
- 38) 小西豊, 小縣正明, 橋本隆, ほか. 乳癌の胸骨旁リンパ節転移の術前診断における超音波検査の有用性について. 第52回日超医抄録号 1988;229-30.
- 39) 平田経雄, 山崎幸司, 山下昇一, ほか. 高分子圧電材【PDF - TrFE】使用の表在組織用リアルタイム高周波プローブの開発. 医学のあゆみ 1987;143:45-6.
- 40) Audit M, Foster FS, Hunt JM. Transient fields of concave annular arrays. *Ultrasonic Imaging* 1981;3:37-61.
- 41) Tanaka I, Takehara Y, Kawauti A, et al. The development of new high resolution ultrasonic diagnostic equipment for surface organs. In: Kasumi F, Ueno E (eds). *Topics in Breast Ultrasound at 7th International Congress on the Ultrasonic Examination of the Breast*: 143-6, 1991, Shinohara.
- 42) 横井浩. 乳頭中心ラジアル走査法による乳腺の超音波診断. 日生医誌 1982;10:321-30.
- 43) 角田博子, 東野英利子, 植野映. 乳癌の乳管内進展の超音波画像. 第52回日超医論文集 1988;217-8.
- 44) 角田博子, 植野映, 東野英利子, ほか. 乳癌の乳管内進展の超音波画像. 超音波医学 1990;17:44-9.
- 45) Teboul M. A new concept in breast investigation: Echo-histological acino-ductal analysis or analytic echography. *Biomed Pharmacother* 1988;42:289-96.
- 46) 神尾孝子, 亀岡信悟, 神崎博, ほか. 乳頭異常分泌を主訴とした非触知乳腺腫瘍の超音波診断. 超音波医学 1989;16(5):463-70.
- 47) 貴田岡正史, 町田光司, 武部和夫. 超音波ガイド下甲状腺穿刺による吸引細胞診の有用性について. 超音波医学 1981;8:329-30.
- 48) 李中仁, 川内幸裕, 内藤誠二. 超音波誘導下乳腺・甲状腺穿刺吸引細胞診用アダプターの考案 - 第4報 -. 第46回日超医論文集 1985;345-6.
- 49) 東野英利子, 植野映, 角田博子. 触知不能あるいは困難な甲状腺疾患に対する超音波検査および超音波誘導下穿刺吸引細胞診. 超音波医学 1989;16:264-9.
- 50) Ueno E, Yuuji A, Imamura A, et al. Ultrasonically biopsy of non-palpable lesions of the breast by the spot method. *Surg Gynecol Obstet* 1990;170:153-5.
- 51) Parker SH, Jobe WE, Dennis MA, et al. US-guided automated large-core breast biopsy. *Radiology* 1993;187:507-11.

- 52) 水谷三浩. 超音波誘導下穿刺吸引細胞診および針生検. 第69回日超医抄録号 1997;24(3):147.
- 53) Namekawa K, Kasai C, Omoto R. Real-time two-dimensional bloodflow imaging using ultrasound Doppler. *J Ultrasound Med* 1983;2:10-5.
- 54) 福成信博, 川内章裕, 志賀俊行, ほか. 乳腺・甲状腺疾患におけるドプラ断層法の使用経験. 第50回日超医論文集 1987;205-6.
- 55) Cosgrove D, Kedar RP, Bamber JC, et al. Breast diseases: color Doppler US in differential diagnosis. *Radiology* 1993;189(1):99-104.
- 56) 植野映. カラードプラ断層法の乳房への応用. 第58回日超医論文集 1991;61-2.
- 57) IVレポート. 日本乳腺甲状腺超音波診断会議発足. *Innervision* 1999;14:112-5.
- 58) Ueno E, Ter Haar G, Clark RL, et al. The use of highly focused ultrasound beams for tumor therapy. *Ultrasound in Medicine and Biology. Excerpta Medica, Amsterdam*: 43-46, 1988.
- 59) Gienfelice D, Khat A, Amara M, et al. MR imaging-guided focused US ablation of breast cancer: Histopathologic assessment of effectiveness-initial experience. *Radiology* 2003;227(3):849-55.
- 60) Furusawa H, Namba K, Thomsen S, et al. MR guided focused ultrasound surgery of breast cancer: reliability and effectiveness. *J Am College Surgeons* 2006;203(1):54-63.
- 61) Ophir J, et al. Elastography: a quantitative method for imaging the elasticity of biological tissues. *Ultrason Imaging* 1991;13(2):111-34.
- 62) Shiina T, et al. Strain imaging using combined RF and envelope autocorrelation processing. *Proc IEEE Ultrason Symp* 1996:1331-4.
- 63) Itoh A, Ueno E, Tohno E, et al. Breast disease: clinical application of US elastography for diagnosis. *Radiology* 2006;239:341-50.
- 64) Ueno E, et al. New Quantitative Method in Breast Elastography; Fat Lesion Ratio (FLR). *RSNA* 2007.
- 65) Berg Wendi A, Cosgrove DO, Dore CJ, et al. Shear-wave Elastography Improves the Specificity of Breast US: The BE1 Multinational Study of 939 Masses. *Radiology* 2012;262:435-9.
- 66) Tozaki M, Fukuma E. Pattern classification of ShearWaveTM Elastography images for differential diagnosis between benign and malignant solid breast masses. *Acta Radiologica* 2011:1-7. DOI:10.1258/ar.2011.110276.