

Ultraschaldiagnostik Kopf – Hals

Hans-Jürgen Welkoborsky

Peter Jecker

Jan Maurer

Wolf Jürgen Mann

293 Abbildungen

Georg Thieme Verlag
Stuttgart • New York

**Ханс-Юрген Велькоборски
Петер Йеккер
Ян Маурер
Вольф Юрген Манн**

Ультразвуковая диагностика заболеваний головы и шеи

Перевод с немецкого

Второе издание

УДК 616-073.43:617.51/.53
ББК 53.4:56.8
В28

Все права защищены. Никакая часть данной книги не может быть воспроизведена в любой форме и любыми средствами без письменного разрешения владельцев авторских прав.

Перевод с немецкого: В.Ю.Халатов

Велькоборски, Ханс-Юрген.

В28 Ультразвуковая диагностика заболеваний головы и шеи / Ханс-Юрген Велькоборски, Петер Йеккер, Ян Маурер, Вольф Юрген Манн ; пер. с нем. – 2-е изд. – Москва : МЕДпресс-информ, 2022. – 176 с. : ил.
ISBN 978-5-00030-954-4.

В книге представлен материал по ультразвуковой диагностике заболеваний области головы и шеи как в В-режиме, так и при использовании доплеровского метода, при этом наиболее ценно описание ультразвуковой анатомии с указанием позиций датчика. Особое внимание уделено инновациям в ультразвуковой диагностике и интервенционной сонографии, которые рассмотрены в отдельной главе.

Книга может служить ориентиром не только для студентов медицинских вузов и начинающих специалистов, которые осваивают ультразвуковой метод диагностики, но позволяет также обновить свои знания опытным врачам.

УДК 616-073.43:617.51/.53
ББК 53.4:56.8

ISBN 978-3-13-169531-4

© 2013 of the original German language edition by Georg Thieme Verlag KG, Stuttgart, Germany. Original title: «Ultraschalldiagnostik Kopf-Hals», by Hans-Jürgen Welkoborsky, Peter Jecker, Jan Maurer, Wolf Jürgen Mann

ISBN 978-5-00030-954-4

© Издание на русском языке, перевод на русский язык, оформление, оригинал-макет. Издательство «МЕДпресс-информ», 2016

Предисловие

Ультразвуковое исследование (УЗИ) – неотъемлемая часть диагностики многих заболеваний, в том числе заболеваний головы и шеи. Спектр показаний, по которым его выполняют, широк – от дифференциальной диагностики объемных образований мягких тканей в области шеи и лица, слюнных желез и щитовидной железы до исключения поражений околоносовых пазух. Выполнение УЗИ перед операцией обеспечивает хирурга важной информацией, которая используется им для планирования хирургического вмешательства. В онкологии УЗИ применяют для скрининга пациентов со злокачественными опухолями шеи и для выявления метастазов в лимфатические узлы.

Новые технологии, такие как режим тканевой гармоник, эндосонография или исследование многочастотным датчиком, ознаменовали качественный скачок в ультразвуковой диагностике и предоставляют сегодня возможность получения высокодифференцированного изображения тканей. Применение контрастного усиления дает важную дифференциально-диагностическую информацию о виде опухоли и ее злокачественном потенциале. Наконец, при помощи УЗИ можно осуществлять мониторинг эффективности химио- и лучевой терапии, а также наблюдать онкологических больных после лечения для раннего распознавания рецидива опухоли. Овладение ультразвуковой диагностикой – составная часть программы повышения квалификации врачей.

При определении многих заболеваний УЗИ имеет такую же или более высокую чувствительность, чем другие современные методы медицинской визуализации, при этом обладая минимальной вредностью для больного и максимальной экономической эффективностью.

В 1997 г. авторы данной книги совместно с издательством Georg Thieme выпустили «Краткое руководство по ультразвуковому

исследованию головы и шеи», в котором был дан обзор ультразвуковой диагностики в соответствии с уровнем технического обеспечения того времени. Настоящая книга является дополненным и переработанным изданием этого руководства.

Руководство дидактически ориентировано на опыт, приобретенный авторами в течение многих лет работы в университетской клинике ЛОР-заболеваний города Майнца и на ежегодных курсах по УЗИ в хирургии головы и шеи, проводимых Американской академией отоларингологии. В книге представлен материал по ультразвуковой диагностике заболеваний области головы и шеи в целом, включая цветное доплеровское картирование (ЦДК), при этом особенно ценно описание ультразвуковой анатомии с указанием позиций датчика. Особое внимание уделено инновациям в ультразвуковой диагностике и интервенционной сонографии, которые рассмотрены в отдельной главе.

Книга может служить ориентиром не только для начинающих специалистов, которые осваивают ультразвуковой метод диагностики, но позволяет также обновить свои знания опытным врачам.

Выражаем особую благодарность сотрудникам издательства Georg Thieme господину Christian Urbanowicz, госпоже Susanne Huiss M.A. и госпоже Doris Kliem за техническую реализацию данного проекта, а также сотрудникам нашей клиники за помощь, оказанную при сборе результатов УЗИ, выполненного у многочисленных больных.

Ганновер–Бад-Зальцунген–Кобленц–Майнц,
весна 2013 г.

Ханс-Юрген Велькборски

Петер Йеккер

Ян Маурер

Вольф Юрген Манн

Авторы

Jecker, Peter, Prof. Dr. med.
Klinikum Bad Salzungen GmbH
Klinik für HNO-Heilkunde
Lindigallee 3
36433 Bad Salzungen

Mann, Wolf Jürgen, Univ.-Prof. Dr. med. Dr. h. c.
JGU Universitätsklinik Mainz
HNO-Klinik
Langenbeckstraße 1
55131 Mainz

Maurer, Jan, Prof. Dr. med.
Katholisches Klinikum Koblenz – Montabaur
Klinik für HNO-Kopf-Hals und Schädelbasischirurgie
Rudolf-Virchow-Straße 7
56073 Koblenz

Welkoborsky, Hans-Jürgen, Prof. Dr. med.
KRH – Klinikum Nordstadt Hannover
HNO-Klinik
Regionale plastische Chirurgie
Haltenhoffstraße 41
30167 Hannover

Содержание

Предисловие	5
Авторы	6
1 История ультразвуковой диагностики заболеваний головы и шеи	11
<i>W. Mann</i>	
Литература	14
2 Физические основы ультразвуковой диагностики	18
<i>H. Welkoborsky</i>	
2.1 Звук, ультразвук и параметры звукового поля	18
2.2 Импульсный ультразвук и эхо-сигналы	19
2.2.1 Скорость звука	19
2.2.2 Затухание звука	19
2.3 Акустический импеданс	20
2.4 Отражение и рассеяние ультразвука	20
2.4.1 Отражение звука	21
2.4.2 Рассеяние звука	21
2.5 Генерирование ультразвукового импульса и прием эхо-сигнала	21
2.5.1 Пьезоэлектрический эффект	22
2.5.2 Разрешение	23
2.5.3 Фокусирование ультразвукового пучка и ультразвуковой датчик	24
2.5.4 Генерирование импульса и предобработка данных	25
Компенсация по глубине	26
Получение изображения в режиме тканевой гармоника	27
2.5.5 Постобработка данных и документирование результатов исследования	28
2.6 Основные типы ультразвукового сканирования	28
2.6.1 Сканирование в А-режиме ...	28
2.6.2 Сканирование в В-режиме ...	29
2.6.3 Сканирование в М-режиме ..	30
2.6.4 Допплерография и цветное доплеровское картирование	30
Допплерография	32
Одно- и двунаправленная доплерография	32
Цветовое доплеровское картирование	33
2.6.5 Ультразвуковое исследование с контрастным усилением ...	34
2.6.6 Эластография	34
2.6.7 Трех- и четырехмерное ультразвуковое исследование	34
Четырехмерное ультразвуковое исследование	35
2.7 Артефакты	35
2.7.1 Акустическая тень	35
2.7.2 Боковая акустическая тень ...	36
2.7.3 Дорсальное усиление	36
2.7.4 Реверберации	37
2.7.5 Электронный шум	37
2.7.6 Артефакты неадекватного фокусирования	37
Литература	38
3 Ультразвуковое исследование шеи и слюнных желез в норме	40
<i>P. Jecker</i>	
3.1 Введение	40
3.2 Базовые настройки ультразвукового аппарата ..	40
3.3 Исследование боковой области шеи	42
3.4 Исследование передней (вентральной) области шеи	44
3.5 Исследование дна полости рта, языка, небных миндалин и поднижнечелюстной области	46
3.6 Исследование околоушной железы и области щеки	49
3.7 Допплеровское исследование крупных артерий шеи	50

4	Ультразвуковая диагностика заболеваний мягких тканей и лимфатических узлов шеи	52		
	<i>P. Jecker</i>			
4.1	Объемные образования мягких тканей шеи	52	4.2.2	Хроническая лимфаденопатия
4.1.1	Кисты шеи	52	4.2.3	Острый лимфаденит
4.1.2	Дермоид и атерома	54	4.2.4	Метастазы плоскоклеточного рака в лимфатические узлы
4.1.3	Эктопическая ткань щитовидной железы	54	4.2.5	Злокачественные лимфомы ..
4.1.4	Липомы	54	4.2.6	Ультразвуковое исследование шейных лимфатических узлов с контрастным усилением и эластографией
4.1.5	Параганглиомы	55		Ультразвуковое исследование с контрастным усилением
4.1.6	Невриномы	56		Эластография
4.1.7	Гемангиомы и лимфангиомы	56	4.3	Особенности ультразвуковой диагностики поражений мягких тканей шеи после лечения ..
4.1.8	Абсцессы шеи	58		Литература
4.1.9	Гематомы и серомы	59		
4.2	Опухоли шейных лимфатических узлов	60		
4.2.1	Архитектоника лимфатических узлов при ультразвуковом исследовании	60		
5	Ультразвуковое исследование при заболеваниях верхнего отдела желудочно-кишечного тракта и дыхательных путей	75		
	<i>P. Jecker</i>			
5.1	Первичные опухоли верхнего отдела желудочно-кишечного тракта и дыхательных путей: возможности и ограничения ультразвуковой диагностики	75	5.4	Объемные образования надгортанника, валлекул и боковой стенки глотки
5.2	Объемные образования преддверия рта, полости рта и нёбных миндалин	76	5.5	Объемные образования гортани
5.3	Объемные образования языка и его корня	78	5.6	Объемные образования гортаноглотки и пищевода
				Литература
6	Ультразвуковая диагностика заболеваний дна полости рта и нёбных миндалин	86		
	<i>H. Welkoborsky</i>			
6.1	Введение	86	6.3	Опухоли дна полости рта, нёбных миндалин и корня языка
6.2	Воспалительные заболевания языка и нёбных миндалин ..	86	6.3.1	Доброкачественные опухоли
			6.3.2	Злокачественные опухоли
				Литература

7	Ультразвуковое исследование при опухолях, прорастающих в крупные сосуды шеи, и при заболеваниях сосудов	92		
	<i>H. Welkoborsky</i>			
7.1	Введение	92	7.3	Опухоли каротидного гломуса
7.2	Основы методики	92	7.4	Прочие заболевания сосудов шеи
7.2.1	Ультразвуковые критерии инфильтрации сосудов опухолью	92	7.4.1	Атеросклероз сонных артерий
7.2.2	Динамическая акустическая пальпация	94	7.4.2	Аневризма сонной артерии ..
7.2.3	Транскраниальное доплеровское ультразвуковое исследование с компрессионной пробой ...	95	7.4.3	Тромбоз внутренней яремной вены
				Литература
8	Ультразвуковая диагностика заболеваний больших слюнных желез	104		
	<i>H. Welkoborsky</i>			
8.1	Введение	104	8.5.1	Плеоморфная аденома
8.2	Методика исследования	104	8.5.2	Мономорфная аденома
8.3	Воспалительные заболевания	105	8.5.3	Злокачественные опухоли ...
8.3.1	Острый сиаладенит	105	8.5.4	Псевдоопухоли слюнных желез
8.3.2	Хроническое воспаление слюнной железы	107		Кисты околоушной железы
8.3.3	Сиаладенозы	109		Ранула
8.3.4	Лимфаденит	109		Гипертрофия жевательной мышцы ..
8.4	Сиалолитиаз	110		Гемангиомы
8.5	Опухоли слюнных желез ...	111		Объемные образования преаурикулярной области
				Литература
9	Ультразвуковая диагностика заболеваний щитовидной железы	124		
	<i>J. Maurer</i>			
9.1	Анатомия щитовидной железы	124		Диффузный зоб
9.2	Методологические основы	125		Узловой зоб
9.2.1	Методика исследования и нормальные показатели ...	125	9.3.2	Воспалительные и аутоиммунные заболевания щитовидной железы
9.2.2	Критерии ультразвуковой диагностики заболеваний щитовидной железы	125	9.4	Кисты щитовидной железы
9.3	Заболевания щитовидной железы	127	9.5	Опухоли щитовидной железы
9.3.1	Зоб	127	9.5.1	Аденома щитовидной железы
			9.5.2	Рак щитовидной железы
				Литература

10	Ультразвуковая диагностика заболеваний околоносовых пазух, мягких тканей лица, глазницы, а также лицевого скелета	137
	<i>P. Jecker</i>	
10.1	Введение	137
10.2	Ультразвуковое исследование околоносовых пазух	137
10.2.1	Ультразвуковое исследование околоносовых пазух в А-режиме	137
10.2.2	Ультразвуковое исследование околоносовых пазух в В-режиме	139
10.3	Объемные образования околоносовых пазух	141
10.4	Диагностика переломов лицевого скелета	144
10.4.1	Перелом носовых костей	145
10.4.2	Переломы глазницы	145
10.4.3	Переломы других костных структур	146
	Литература	148
11	Интервенционное ультразвуковое исследование	149
	<i>H. Welkoborsky</i>	
11.1	Введение	149
11.2	Тонкоигольная биопсия под ультразвуковым наведением	149
11.3	Пункция и дренирование абсцессов и кист под ультразвуковым наведением	152
11.4	Инъекции ботулотоксина под ультразвуковым наведением	153
11.5	Ультразвуковое исследование с контрастным усилением ..	153
11.6	Удаление сиалолитов под ультразвуковым контролем	154
11.7	Пункция сосудов под ультразвуковым наведением	156
11.8	Интраоперационное ультразвуковое исследование	156
	Литература	158
12	Обзор: новые разработки в ультразвуковой диагностике	160
	<i>H. Welkoborsky</i>	
12.1	Введение	160
12.2	Компьютеризированная оценка результатов ультразвукового исследования	160
12.3	Метод слияния изображений	161
12.4	Интраоперационное ультразвуковое исследование (навигация)	161
12.5	Трехмерное ультразвуковое исследование	162
12.6	Ультразвуковое исследование с целевыми контрастными препаратами для молекулярной визуализации	162
	Литература	164

1 История ультразвуковой диагностики заболеваний головы и шеи

W. Mann

История ультразвуковой диагностики заболеваний головы и шеи насчитывает менее 100 лет и начинается с новаторских исследований и тесного сотрудничества физиков и медиков [30, 62], которые искали метод неинвазивной визуализации внутренних органов и тканей человека. В результате тесного сотрудничества медицинских фирм и ученых различных медицинских специальностей появился метод диагностики, основанный на принципе работы эхолота, методе дефектоскопии и различных приложениях в военной области и не очень сильно отличающийся от современного ультразвукового метода диагностики [11, 23]. Этот новый передовой инструментальный метод исследования стал применяться прежде всего в таких областях медицины, как гинекология, радиология, неврология и внутренняя медицина [3–5, 13, 15–17, 28, 35, 42, 43, 58, 60, 72]. Но постепенное техническое усовершенствование, а именно уменьшение размера ультразвуковых датчиков и расширение их частотного спектра, привело к тому, что ультразвуковой метод исследования стал применяться во всех клинических дисциплинах.

Развитие метода ультразвуковой диагностики и его медицинское применение по обе стороны Атлантики начались до 1940-х годов, но единичные случаи применения УЗИ в диагностике заболеваний головы и шеи были только в 1960-х годах – в Германии и Японии [21, 37–40]. Лишь спустя десятилетие забвения, которое длилось до середины 1970-х годов, в связи с более интенсивным взаимодействием между промышленностью и медициной была предпринята попытка внедрить ультразвуковой метод исследования в диагностику заболеваний головы и шеи [1, 9, 19, 24, 45]. Однако этому препятствовало то обстоятельство, что медицинская промышленность поставляла на рынок только ультразвуковые аппа-

раты, которые применялись в гинекологии и внутренней медицине. В диагностике гинекологических заболеваний и патологии внутренних органов приходится визуализировать анатомические образования, находящиеся глубоко, используя для этого датчики с относительно низкой рабочей частотой. Но для исследования поверхностно расположенных структур такие датчики не вполне подходят, что отчасти связано также с трудностью достижения эффективного акустического контакта с кожей. Поэтому впервые в Германии, Австрии и Швейцарии, а затем и в странах Скандинавии стали выполнять УЗИ в А-режиме с небольшими датчиками [46–49, 51, 61, 64, 67, 71]. Первоначально широкому распространению этого метода визуализации препятствовала невысокая оценка, данная ему в академических кругах университетов. Это продолжалось до тех пор, пока метод не получил признание сначала в других клинических дисциплинах, а затем был оценен специалистами по лечению заболеваний головы и шеи.

Окончательному прорыву УЗИ в диагностике заболеваний головы и шеи способствовали также другие факторы. Наряду с техническим усовершенствованием самого метода также сыграло роль образование международных междисциплинарных обществ по УЗИ, в частности Объединенного немецкого, австрийского и швейцарского общества по применению ультразвукового метода исследования, Европейского общества ультразвуковой диагностики, Американского института ультразвуковой медицины и Международного общества ультразвуковой диагностики. Под научным руководством этих обществ стал возможен международный обмен информацией между специалистами по ультразвуковой диагностике в различных областях медицины. И если на международной конференции Немецкого общества ультразвуковой медици-

ны DEGUM (Deutsche Gesellschaft für Ultraschall in der Medizin), проходившей в Давосе в 1979 г., был прочитан всего лишь 1 доклад на тему УЗИ 15 участникам, то в 2001 г. на соответствующей конференции специалистов было заслушано уже 30 докладов.

Следующей вехой в распространении ультразвукового метода диагностики явился первый междисциплинарный конгресс, который состоялся в 1983 г. во Фрайбурге. Конгресс, в работе которого приняли участие 250 специалистов всех областей медицины из разных стран мира, был посвящен исключительно ультразвуковой диагностике заболеваний головы и шеи. Далее, в 1984 г., была издана первая монография под названием «Ультразвук в диагностике заболеваний головы и шеи» [50]. Хотя в 1978 г. Lutz [44] была уже написана монография по ультразвуковой диагностике, но она касалась только клиники внутренних болезней. В то время как в последовавшие 1980-е годы интенсивным изучением ультразвукового метода диагностики занимались только единичные специалисты, такие как Bruneton во Франции [6], Jannert в Швеции [31], Revonta в Финляндии [63], Mann в Германии [50, 53], Gritzmann в Австрии [26], а также Baatenburg de Jong [2] и Chodosh [7], 1990-е годы ознаменовались стремительным увеличением количества публикаций во всем мире, на которых мы остановимся подробнее в ходе дальнейшего изложения. Как раз в этот период по данной теме появи-

лись монографии Hell и соавт. [27], Mann, Welkoborsky и Maurer [56].

Все же предпосылкой для окончательного утверждения метода в повседневной практике стало систематическое обучение специалистов, внесение ультразвуковой диагностики в классификатор медицинских дисциплин и присвоение ей кода. Несмотря на то что курсовая система обучения на базе обществ по ультразвуковой диагностике была и пока остается средством повышения квалификации врачей-сонографистов, право подготовки специалистов по ультразвуковой диагностике получили также некоторые институты.

В связи с этим позволю себе сделать экскурс в историю, используя личный пример. В 1971 г. профессор Freimanis, известный тогда радиолог и специалист в области ультразвуковой диагностики, предоставил мне возможность в рамках подготовки по хирургии в медицинском колледже в городе Толедо (штат Огайо) заняться УЗИ. Хотя у профессора Freimanis не было опыта использования УЗИ при заболеваниях головы и шеи, тем не менее он рекомендовал мне продолжить обучение в этой области. Во Фрайбурге в 1973 г. мне удалось найти публикации 1968 г. Gilbricht и Heidelberg из дрезденской клиники [21], а также публикации 1965 г. Kitamura и Kaneko из Японии [39], которые изучали возможность диагностики патологии околоносовых пазух при помощи УЗИ в А-режиме. В это же время руководитель фрайбургской неврологической клиники профессор Jung изучал с сотрудниками (все они были известными специалистами в области ультразвуковой диагностики) возможность применения ультразвука в диагностике нервных болезней. Исследование, проведенное инженером Карп, работавшим в этой научной группе (рис. 1.1), и сотрудничество с инженером Kretz из фирмы Kretztechnik в Ципфе (Австрия) (рис. 1.2, 1.3) и инженером Sanner из фирмы ATMOS в Ленцкирхе (рис. 1.4) утвердили меня в решении продолжить собственные исследования в данном направлении.

В результате в середине 1970-х годов я опубликовал первые работы в этой области. В 1992 г. мы совместно с Amedee из Нового Орлеана и Gluckman из Цинциннати орга-



Рис. 1.1 Эхограф фирмы Kranzbühler (Золинген), применявшийся в 1973 г., при помощи которого были сделаны первые попытки УЗИ околоносовых пазух датчиком с рабочей частотой 3,5 МГц в А-режиме (фотография приводится с разрешения инженера Карп).

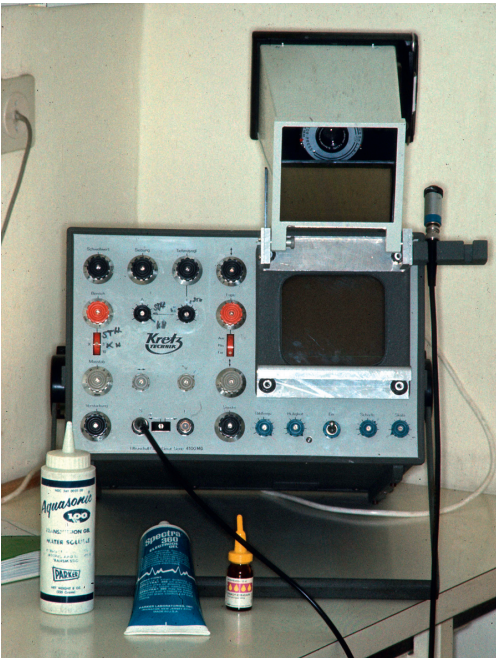


Рис. 1.2 Ультразвуковой аппарат фирмы Kretztechnik (Цифф, Австрия) и датчик с рабочей частотой 5 МГц для исследования в А-режиме, применявшиеся в 1974 г. для исследования околоносовых пазух.

низовали в США первые учебные курсы по ультразвуковой диагностике для ЛОР-врачей, вызвавшие столь же небольшой резонанс, как и первый доклад, прочитанный на заседании общества DEGUM в Давосе в 1979 г. Из-за небольшой популярности такие курсы в дальнейшем не проводились. Первые статьи с участием упомянутых авторов появились в специальном журнале, издаваемом в США, в 1992–1994 гг. [20, 22, 25, 54, 55].

Протагонистами нашей дисциплины были Soffermann и Orloff, которые после рабочей поездки в Гонконг, Регенсбург и Майнц взяли за распространение ультразвукового метода исследования в диагностике ЛОР-заболеваний. Сегодня они уже признанные эксперты в данной области. Профессор Orloff много лет ведет курсы по ультразвуковой диагностике совместно с профессором Welkoborsky, в том числе и на ежегодных конгрессах Американской академии наук. В 2008 г. вместе с европейскими коллегам

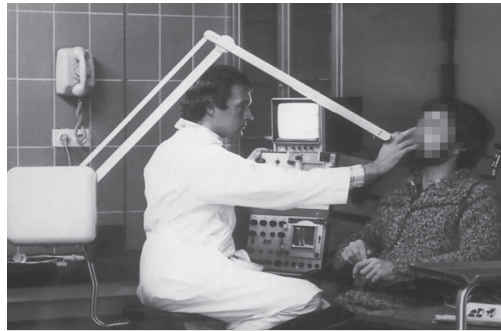


Рис. 1.3 УЗИ в В-режиме, проводившееся в 1975 г. Первые попытки компаундного сканирования при помощи В-модального ультразвукового аппарата фирмы Kretztechnik (Цифф, Австрия) и датчика с рабочей частотой 5 МГц (фотография сделана F.Stecker, тогдашним фотографом в клинике ЛОР-болезней университета в Майнце).



Рис. 1.4 Аппарат, специально предназначенный для УЗИ околоносовых полостей в А-режиме и применявшийся в 1975 г. Использовались аппараты фирмы ATMOS (Ленцкирх) и датчики с рабочей частотой 5 МГц.

ми, в частности Jecker, Welkoborsky и Van Den Brekel, он опубликовал первую в США монографию «Ультразвуковая диагностика заболеваний головы и шеи» [59]. Таким образом, начавшийся в Толедо (штат Огайо, США) цикл завершился в Сан-Франциско, где в настоящее время преподает профессор Orloff. Эта несистематизированная история ультразвуковой диагностики заболеваний головы и шеи, основанная на пути, пройденном лично автором данной книги, началась до широкого развития ультразвуковой диагностики в медицине, в частности на фоне исследований по применению данного

метода в диагностике заболеваний головы и шеи [18].

Ультразвуковой метод исследования, в основе которого лежит открытый братьями Кюри пьезоэлектрический эффект [62], впервые применили в медицине Gohr и Wedekind, попытавшиеся определить при помощи данного метода форму и размеры внутренних органов [23]. Вскоре после этого Dussik в первый раз провел диагностическое УЗИ [13]. И хотя в 1952 г. об этом методе исследования практически забыли, известны случаи применения ультразвука в области неврологии для диагностики интракраниальной патологии в период с 1950-го по 1965 г. [35, 43, 72]. В 1947 г. Keidel [36] впервые сообщил о применении ультразвукового метода в диагностике заболеваний околоносовых пазух, однако о его работе также забыли, вспомнив только в 1960-е годы. Gilbricht и Heidelberg начали применять УЗИ для диагностики заболеваний околоносовых пазух в 1968 г. [21], Kitamura и Kaneko в Японии – в 1965 и 1969 гг. [39, 40], и до 1975 г. сообщения об этом методе отсутствовали, пока мы не опубликовали собственные статьи по данной теме [46, 47, 52].

Решающим фактором для развития ультразвуковой диагностики в медицине явилось применение ультразвукового метода исследования в гинекологии и особенно в перинатологии [28, 42, 72], а также в офтальмологии в период с 1956-го по 1991 г. [4, 58, 60], кардиологии и онкологии в период с 1955-го по 1963 г. [3, 15, 16, 38]. В 1963 г. Holms и Nowgu впервые описали компаундный метод сканирования, который был применен у пациента, погруженного в ванну с водой [29], а Donald в том же году опробовал так называемое контактное сканирование [10]. Еще до этого Nowgu и Bliss в 1952 г. сообщили о применении УЗИ в диагностике органов брюшной полости [30]. В 1972 г. австралийцы Kossoff и Garrett [42] описали так называемый метод серошкального изображения, который давал возможность дифференцировать ткани [8]. Широкое применение ультразвука началось в 1970–80-е годы и имело значительный диапазон – от исследования органов, расположенных в крупных анатомических полостях,

до исследования мягких тканей и органов в области шеи, включая применение в области одонтологии [1, 5–8, 24, 37, 45, 47, 64, 67]. За этим последовало издание первых монографий по ультразвуковой диагностике заболеваний головы и шеи [27, 50].

Успехи, достигнутые в приборостроении, разработка новых материалов и методов исследования затронули также медицину в целом и ультразвуковую диагностику в частности [12, 14, 33, 34, 55, 57, 61, 65, 66, 69, 70]. Все большее клиническое значение приобретает ультразвуковой метод исследования в случае трудно диагностируемых заболеваний, а количество статей по ультразвуковой диагностике, публикуемых в международных журналах, уже не поддается учету. Обзор по данному методу диагностики представлен Jecker и Welkoborsky в монографии Orloff [59].

Помимо применения в диагностических целях, ультразвук нашел дальнейшее использование в хирургии головы и шеи. Учитывая опыт выполнения пункции органов брюшной полости, а также щитовидной железы под ультразвуковым контролем, стало возможным применять биопсию тонкой иглой под ультразвуковым контролем в диагностике опухолей головы и шеи, вести наблюдение за состоянием больных после выполнения такой биопсии [2, 41]. Кроме того, при помощи УЗИ стали возможны интраоперационная локализация непальпируемой опухоли с соблюдением стерильности, выполнение так называемых минимально-инвазивных вмешательств на голове и шее [68]. Почти за 70 лет, начиная с исследования Keidel и до наших дней, в ультразвуковой диагностике заболеваний головы и шеи произошли разительные перемены, которые наблюдались также в медицине в целом и которые неотделимы от современной академической и клинической медицины.

Литература

- [1] Abramson DH, Abramson AL, Coleman DJ. Ultrasonics in Otolaryngology. Arch Otolaryngol 1972; 96: 146–148
- [2] Baatenburg de Jong RJ, Rongen RJ, De-long PC et al. Screening for lymph nodes in the neck with ultrasound. Clin Otolaryngol 1988; 13: 5–9

- [3] **Bannaski H, Fischer KH.** Neue diagnostische Möglichkeiten des Ultraschall-Impulsechoverfahrens. *Med Klein* 1958; 53: 51–57
- [4] **Baum G, Greenwood J.** The application of ultrasonic locating techniques to ophthalmology. *Amer Arch Ophth* 1958; 60: 263–267
- [5] **Blum M, Goldman AB, Hershovic A et al.** Clinical application of thyroid echography. *N Engl J Med* 1972; 287: 1164–1165
- [6] **Bruneton JN, Fenart D, Vallicioni J et al.** Séméiologie, échographique des tumeurs de la parotide. A propos de 40 observations. *J Radiol* 1980; 61: 151–155
- [7] **Chodosh PL, Silbey R, Oen KT.** Diagnostic use of ultrasound in disease of the head and neck. *Laryngoscope* 1980; 90: 814–817
- [8] **Crocker EF, McLanghlin AF, Kossoff G et al.** The grey-scale echographic appearance of thyroid malignancy. *J Clin Ultrasound* 1974; 2: 305–309
- [9] **Damascelli B, Cascinelli N, Kivraghi T.** Preoperative approach to thyroid tumors by two-dimensional pulsed echo technique. *Ultrasonics* 1968; 6: 242–246
- [10] **Donald I.** Use of ultrasonics in diagnostic of abdominal swellings. *Brit Med J* 1963; II: 1154–1155
- [11] **Donald J, Brown TG.** Demonstration of tissue interfaces within the body by ultrasonic echo sounding. *Br J Radiol* 1961; 34: 539–542
- [12] **Dummer W, Blaheta HJ, Bastian BC et al.** Preoperative characterization of pigment skin lesions by epiluminescence microscopy and high-frequency ultrasound. *Arch Dermatol* 1995; 131 (3): 279–285
- [13] **Dussik K.** Über die Möglichkeit, hochfrequente mechanische Schwingungen als diagnostisches Hilfsmittel zu verwerten. *Z Ges Neurol Psychiat* 1942; 174: 153–156
- [14] **Ecke U, Gosepath J, Mann W.** Initial experience with intraoperative ultrasound in navigated soft tissue operations of the neck and blow the base of the skull. *Ultraschall Med* 2006; 27: 49–54
- [15] **Edler J.** The diagnostic use of ultrasound in heart diseases. *Acta Med Scan Suppl* 1955; 308: 32–37
- [16] **Effert S.** Diagnostic value of ultrasonic cardiography. *Br J Radiol* 1963; 36: 302–305
- [17] **French LA, Wild J, Neal D.** Detection of cerebral tumours by ultrasonic pulses: pilot studies on post mortem material. *Cancer* 1950; 3: 705–709
- [18] **Frentzel-Beyme B.** Als die Bilder laufen lernten oder die Geschichte des Ultraschalls. *Ultraschall Klein Prax* 1994; 1: 349–355
- [19] **Fujimoto Y, Oka A, Omoto R.** Ultrasound scanning of the thyroid gland as a new diagnostic approach. *Ultrasonics* 1967; 5: 177–181
- [20] **Gianoli G, Mann W, Müller R.** B-Mode ultrasonography of the paranasal sinuses compared with CT findings. *Otolaryngol Head Neck Surg* 1992; 107: 713–720
- [21] **Gilbricht E, Heidelberg JG.** Ultraschall in der Medizin und ihre Anwendungsmöglichkeiten im HNO-Bereich. *Z Laryngol Rhinol Otol* 1968; 47: 737–746
- [22] **Gluckmann JL, Mann W, Gapany M et al.** The role of real-time ultrasonography in an otolaryngology office setting. *Laryngoscope* 1993; 103: 570–574
- [23] **Gohr H, Wedekind T.** Der Ultraschall in der Medizin. *Klin Wochenschr* 1940; 19: 25–29
- [24] **Gooding GAW, Herzog KA, Lang FC.** Ultrasonographic assessment of neck masses. *J Clin Ultrasound* 1976; 5: 248–252
- [25] **Gosepath J, Hiuni M, Mann W.** The state of the art of ultrasonography in the head and neck. *Ann Oto Laryn* 1994; 111: 1–5
- [26] **Gritzmann N, Grasl MC, Helmer M et al.** Invasion of the carotid artery and jugular vein by lymph node metastases: detection with sonography. *Am J Roentgenol* 1990; 154: 411–414
- [27] **Hell B.** Atlas der Ultraschalldiagnostik im Kopf-Hals-Bereich. Stuttgart: Thieme; 1990
- [28] **Hoffbauer H.** Die Bedeutung der Ultraschalldiagnostik in der Frühschwangerschaft. *Electromedica* 1970; 3: 227–231
- [29] **Holms JH, Howry DH.** Ultrasonic diagnosis of abdominal disease. *Am J Digest Dis* 1963; 8: 12–16
- [30] **Howry DH, Bliss WR.** Ultrasonic visualization of soft tissue structure of the body. *J Lab Clin Med* 1952; 40: 579–592
- [31] **Jannert M.** Maxillary ostial function test and diagnostic ultrasonography of paranasal sinuses [Thesis]. Lund, Malmö: University of Lund, Malmö; 1982
- [32] **Jecker P, Frenzel-Beyme B.** Zur Geschichte der Kopf-Hals-Sonografie. *Laryngorhinootologie* 2002; 81: 900–905
- [33] **Jecker P, Engelke JC, Westhofen M.** Über die Einsatzmöglichkeiten eines Signalverstärkers für die Duplexsonografie in der Hals-, Nasen-, Ohrenheilkunde. *Laryngorhinootologie* 1998; 77: 289–293
- [34] **Jecker P, Maurer J, Mann W.** Verbesserte Orts- und Kontrastauflösung in der Ultraschalldiagnostik durch Nutzung harmonischer Frequenzen. *Laryngorhinootologie* 2001; 80: 203–208
- [35] **Kazner E, Kunze S, Schiefer E.** Die Bedeutung der Echoenzephalografie für die Erkennung epi-

- duraler Hämatome. *Langenbecks Arch Klein Chir* 1965; 310: 267–270
- [36] **Keidel W.** Über die Verwendung des Ultraschalls in der klinischen Diagnostik. *Ärztl Forsch Z Forschungsergebn Med* 1947; 1: 349–355
- [37] **Kelsy CA, Crummy A, Sulman E.** Comparison of ultrasonic and radiographic determination of lateral pharyngeal wall displacement. *Phys Med Ciol* 1969; 14: 332–334
- [38] **Kikuchi Y, Uckida R, Tanaka K et al.** Early cancer diagnoses through ultrasonics. *J Acoust Soc Am* 1957; 29: 824–828
- [39] **Kitamura TA, Kanecko T.** Le diagnostic des affections du sinus maxillaire par ultrasons impulsifs. *Ann Oto Laryngol (Paris)* 1965; 82: 711–714
- [40] **Kitamura T, Kaneko T, Asano H et al.** Ultrasonic diagnosis in otorhinolaryngology. *Eye Ear Nose Throat Mon* 1969; 48: 329–337
- [41] **Knapp I, Mann W, Wochter W.** Stellenwert der ultraschallgesteuerten Feinnadelbiopsie in der Diagnostik unklarer Halstumore. *Laryngorhinootologie* 1989; 68: 683–689
- [42] **Kratochwil A.** *Ultraschalldiagnostik in Geburtshilfe und Gynäkologie.* Stuttgart: Thieme; 1968
- [43] **Leksell L.** Echoencephalography. I. Detection of intracranial complications following head injury. *Acta Chir Scan* 1955; 110: 301–304
- [44] **Lutz H.** *Ultraschalldiagnostik (B-Scan) in der Inneren Medizin.* Berlin: Springer; 1978
- [45] **Macridis CA, Kouloulas LA, Koutsimelas B et al.** Zur Diagnose von Speicheldrüsentumoren mit Ultraschall. *Elektromedica* 1975; 4: 130–136
- [46] **Mann W.** Die Ultraschalldiagnostik der Nasennebenhöhlen und ihre Anwendung in der Freiburger HNO-Klinik. *Arch Oto Rhino Laryngol* 1975; 211: 154–155
- [47] **Mann W.** Die Ultraschalldiagnostik der NNH-Erkrankungen mit A- und B-Scan. *Laryng Rhinol* 1976; 55: 48–53
- [48] **Mann W.** Echography of the infantile mastoid. *Arch Oto Rhino Laryngol* 1978; 220: 291–294
- [49] **Mann W.** Diagnostic ultrasonography in paranasal sinus diseases – a 5-year review. *Oto Rhino Laryngol* 1979; 41: 168–171
- [50] **Mann W.** *Ultraschall im Kopf-Hals-Bereich.* Berlin: Springer; 1984
- [51] **Mann W, Schumann K, Käfer U.** Vergleichende röntgenologische und ultrasonografische Untersuchung kindlicher Nasennebenhöhlen. *Klein Pädiat* 1976; 188: 67
- [52] **Mann W, Beck C, Apostolidis T.** Liability of the ultrasound in maxillary sinus disease. *Arch Otorhinolaryngol* 1977; 215: 67
- [53] **Mann W, Burny A, Schlenter W.** Les ultrasons dans le diagnostic des affections sinusiennes. *Ann Oto Laryngol (Paris)* 1981; 98: 299–303
- [54] **Mann W, Amedee R, Schreiber J.** Ultrasonography for diagnosis of lyme disease in case of a acute facial paralysis. *Laryngoscope* 1992; 102: 525–527
- [55] **Mann W, Beck A, Schreiber J et al.** Ultrasonography for evaluation of the carotid artery in head and neck cancer. *Laryngoscope* 1994; 104: 885–888
- [56] **Mann W, Welkoborsky HJ, Maurer J.** *Kompendium Ultraschall im Kopf-Hals-Bereich.* Stuttgart: Thieme; 1997
- [57] **Maurer J, Ungersböck K, Amedee RG et al.** Transcranial Doppler ultrasound recording with compression tests in patients with tumours involving the carotid artery. *Skull Base Surg* 1993; 3: 11–15
- [58] **Mundt GH, Hughes WE.** Ultrasonics in ocular diagnosis. *Am J Ophthalmol* 1956; 41: 488–493
- [59] **Orloff L.** *Head and neck ultrasonography.* San Diego: Plural Publishing; 2008
- [60] **Ossoinig K.** Zur Ultraschalldiagnostik der Tumore des Auges. *Mbl Augenheilk* 1965; 146: 321–326
- [61] **Quetz JU, Bosse M, Sperlich D et al.** Sonography for detection of late lymph node metastases in the head and neck region and effective method of follow up screening. *Br J Cancer* 1998; (77 Suppl. 1): 15
- [62] **Quinn S.** *Marie Curie.* Frankfurt a. M.: Insel; 1999
- [63] **Revonta M.** Ultrasound in the diagnosis of maxillary and frontal sinusitis. *Acta Otolaryngol (Stockholm)* 1980; Suppl. 370: 1–34
- [64] **Scheibe FW, Leopold GR.** Diagnostic imaging in head and neck disease: current application of ultrasound. *Head Neck Surg* 1978; 1: 1–7
- [65] **Schreiber J, Mann W, Lieb W.** Farbduplexsonografische Messung der Lymphknotenperfusion. Ein Beitrag zur Diagnostik der zervikalen Metastasierung. *Laryngorhinootologie* 1993; 72: 187–192
- [66] **Schreiber J, Mann W, Ringel K.** Die Rolle der Farbduplexsonografie bei der Diagnose und Differentialdiagnose von Glomus caroticum Tumoren. *Laryngorhinootologie* 1996; 75: 100–104
- [67] **Spranger H.** Sofortdiagnose des marginalen Knochenabbaues anhand der eindimensionalen Ultraschallechodarstellung des Limbus alveolaris. *Dtsch Zahnärztl Z* 1970; 25: 501–506
- [68] **Stetter S, Jecker P, Mann W.** Einsatz des intraoperativen Ultraschalls in der Speicheldrüsenchirurgie. *Ultraschall Med* 2006; 27: 159–163

- [69] **van den Brekel MW, Reitsma LC, Quak JJ et al.** Sonographically quicked aspiration cytology of neck nodes for selection of treatment and follow up in patients with N0 head and neck cancer. *Am J Neuroradiol* 1999; 20: 1727–1731
- [70] **Westhofen M.** Ultrasound B-Scans in the follow up of head and neck tumours. *Head Neck Surg* 1987; 9: 272–278
- [71] **Wiley AL, Zagzebski JA, Tolbert DD et al.** Ultrasound B-scans for clinical evaluation of neoplastic neck nodes. *Arch Otolaryngol* 1975; 101: 509–513
- [72] **Willocks J, Donald I, Duggan TC et al.** Fetal cephalometry by ultrasound. *J Obstet Gynaecol Brit Cwth* 1964; 171: 11–16

2 Физические основы ультразвуковой диагностики

H. Welkoborsky

2

2.1 Звук, ультразвук и параметры звукового поля

Под звуком понимают серию повторяющихся ударных волн. Звук привязан к материальной среде: в тканях человека и жидкостях речь идет о продольных волнах, т.е. тех, в которых материальные точки смещаются в направлении распространения волны. Изменения давления, происходящие во времени, можно представить в виде графика зависимости «время–давление». В случае тонального звука кривая зависимости имеет синусоидальную форму. Количество волн в секунду называется частотой. Она измеряется в герцах (Гц) и является также мерой высоты тона. Частота в 1 Гц соответствует одному завершённому циклу колебаний (одной волне), который совершается за 1 с; чем больше частота, тем выше тон. Звук, воспринимаемый ухом человека, имеет частоту в диапазоне 20–20 000 Гц. Под ультразвуком

понимают звук с частотой, превышающей 20 000 Гц. Частота звука, необходимая для получения обычных ультразвуковых изображений, соответствует диапазону 1–16 МГц.

В таблице 2.1 приведены наиболее важные понятия, необходимые для понимания физических основ ультразвуковой диагностики.

Еще одним важным параметром является уровень звука. Он измеряется в децибелах (дБ). В ультразвуковой диагностике он представляет собой десятичный логарифм отношения давления звука к эталонной величине давления звука:

$$\text{Уровень звука} = 20 \cdot \log \frac{P_1}{P_0},$$

где P_0 – эталонное давление звука = $2 \cdot 10^{-5}$ Па, P_1 – давление звука в паскалях (Па).

Из приведенной формулы следует:

- 0 дБ = $1 \cdot P_0$
- 3 дБ = $1,41 \cdot P_0$
- 10 дБ = $3,16 \cdot P_0$
- 30 дБ = $13,6 \cdot P_0$ и т.д.

Таблица 2.1 Важнейшие физические понятия в ультразвуковой диагностике

Параметр	Обозначение в формулах	Единица измерения	Определения
Период колебаний	T	с	Время одного полного цикла колебания (например, для «ля» первой октавы он равен 2,3 мс)
Амплитуда	A	дБ	Максимальное давление звука (упрощенно называют громкостью звука)
Скорость	V	м/с	Мера быстроты распространения звуковой волны в среде (например, скорость распространения звука в воздухе равна 340 м/с, в тканях при температуре 37°C – 1540 м/с)
Частота	f	Гц	Количество колебаний (волн) за 1 с (высота тона)
Длина волны	l	м	Расстояние, которое пробегает волна за 1 период (например, для звука в слышимом диапазоне оно варьирует от 2 до 2000 см, для ультразвука – от 0,1 до 1,5 мм)
Длительность тона	d	с	Время, в течение которого тон можно слышать (помимо прочего зависит от числа колебаний)
Давление звука	P	Па (1 Па = 1 Н/м ²)	Давление, оказываемое на частицы среды при распространении звуковой волны

12 Обзор: новые разработки в ультразвуковой диагностике

H. Welkoborsky

12.1 Введение

Новые технические разработки, применение контрастных веществ, эластографии в последние годы значительно расширили показания к УЗИ и повысили его диагностическую ценность. В ближайшем будущем следует ожидать дальнейших инноваций, которые могут существенно повлиять на клиническое применение УЗИ. В частности, речь идет о программном обеспечении для компьютеризированной оценки результатов исследования, улучшении пространственного разрешения на основе метода слияния изображений, интраоперационном применении УЗИ и его привязке к навигации, о трехмерном УЗИ, а также УЗИ с целевыми контрастными препаратами для молекулярной визуализации.

12.2 Компьютеризированная оценка результатов ультразвукового исследования

Несмотря на достижения в ультразвуковой диагностике последних лет, для ряда заболеваний по-прежнему отсутствуют специфические сонографические критерии, а интерпретация отдельных признаков и их оценка остаются субъективными, хотя данные, приводимые разными авторами, во многом совпадают [7]. Вместе с тем существует отчетливая корреляция между опытом врача и достоверностью диагноза. Для уменьшения роли субъективного фактора в интерпретации результатов УЗИ и повышения объективности оценки в последние годы были разработаны методы компьютеризированной оценки результатов УЗИ. Имеющиеся в настоящее время компьютерные программы основаны на сравнении реги-

стрируемых данных с референтными значениями. На основании результатов такого сравнения программа предлагает вариант интерпретации. Примером применения компьютеризированной оценки является УЗИ лимфатических узлов. В этом исследовании берется ряд параметров, по которым проводится дифференцирование доброкачественного поражения лимфатического узла от метастазов (в частности, размеры, структурированность ворот, экзогенность, границы, индекс Сольбиати – см. гл. 4) и которым дается оценка в баллах и проводится компьютерная обработка полученных данных [22, 25, 34, 35]. Для диагностики заболеваний молочной железы в настоящее время пользуются трехмерной моделью для компьютеризированной оценки результатов УЗИ, включая и данные эластографии. Помимо формы, экзогенности, локализации и особенностей границ, учитывают также жесткость ткани и особенности контрастирования после введения контрастного вещества [2]. Аналогичные компьютерные программы, которые в настоящее время проходят клинические испытания, разработаны и для диагностики заболеваний щитовидной и предстательной желез. В будущем этими программами будут оснащены ультразвуковые аппараты.

NB

Накопленный к настоящему времени опыт говорит о довольно высокой чувствительности, специфичности и диагностической точности указанных компьютерных программ и возможности их применения для облегчения интерпретации результатов УЗИ. Однако и в будущем эти программы не смогут заменить индивидуального опыта и оценки врача [14].

12.3 Метод слияния изображений

Слияние данных в различных методах диагностической визуализации позволяет сочетать преимущества УЗИ как динамического метода исследования в режиме реального времени с преимуществами КТ в визуализации костных структур и МРТ в визуализации мягких тканей. Кроме того, при помощи трехмерного УЗИ можно получить пространственное изображение слитых данных. Этот метод позволяет, например, точно определять локализацию мелких опухолей. Также имеется возможность комбинировать слитое изображение с ЦДК после введения контрастного вещества или без него и получить представление о состоянии перфузии опухоли [5, 14, 17]. Первое применение в диагностике заболеваний головы и шеи метод слияния компьютерно-томографического и ультразвукового изображений нашел, например, в планировании сеансов прицельного облучения опухолей головы и шеи и пораженных метастазами лимфатических узлов [33].

Комбинирование МРТ и трансректального трехмерного УЗИ позволяет выявить 97% мелких очагов поражения в предстательной железе при минимально-инвазивной биопсии [28]. Комбинирование УЗИ с КТ и/или МРТ повышает диагностическую точность биопсии при заболеваниях костно-мышечной системы до 100% [19].

Недостаток УЗИ заключается в том, что мягкие ткани, которые располагаются за костью, не визуализируются. Метод слияния изображений сглаживает этот недостаток; он позволяет, например, точно вводить источник облучения в опухолевую ткань при проведении брахитерапии [12]. В будущем это найдет применение при проведении операций, выполняемых по поводу опухолей основания черепа или поднижнечелюстной части околоушной железы [8].

12.4 Интраоперационное ультразвуковое исследование (навигация)

Интраоперационное УЗИ позволяет получить изображение тканей и операционного поля в режиме реального времени в процессе выполнения операции. Примерами применения интраоперационного УЗИ области головы и шеи являются уточнение локализации мелких опухолей слюнных желез, щитовидной железы и мягких тканей шеи, а также минимально-инвазивное удаление опухолей паращитовидной железы [9, 11]. При деструкции гемангиомы Nd:YAG-лазером УЗИ позволяет не только подвести лазерный световод к опухоли, но и контролировать состояние больного после лечения, при необходимости выполняя исследование с введением контрастного вещества [11]. УЗИ можно применять и для поиска инородных тел, особенно в мягких тканях лица и шеи, а также в глазнице. Кусочки дерева, стекла, пластмассы, металлические фрагменты возможно визуализировать при помощи датчиков с высокой разрешающей способностью [9, 15]. Наконец, интраоперационное УЗИ применяют также для уточнения локализации питающих сосудов трансплантируемого лоскута, а после трансплантации – для контроля за его кровоснабжением [30]. Комбинирование результатов трехмерного УЗИ с контрастным усилением с результатами КТ или МРТ позволяет точно установить локализацию мелких очагов поражения в паренхиматозных органах и выполнить тонкоигольную биопсию этих очагов. Данный метод открывает также новые возможности для лечебных вмешательств, например, для гипертермической терапии мелких метастазов [27].

Уже несколько лет прошло с тех пор, как была предложена привязка УЗИ к системе навигации. В процессе претворения в жизнь этого предложения возникли трудности, связанные со смещением мягких тканей во время оперативного вмешательства в связи с действиями хирурга и необходимостью коррекции при помощи сравнения с референтными тканями. Все это снижает диагностическую точность метода [8, 32].

Разработка датчиков и инструментов для навигации с целью применения во время операции делают ненужным строгий контроль при помощи референтных тканей; это позволяет избежать снижения диагностической точности под влиянием смещения мягких тканей [13]. Слияние ультразвукового изображения с компьютерными и/или магнитно-резонансными томограммами в сочетании с новыми трехмерными ультразвуковыми датчиками для навигации в режиме реального времени, при которых уже не нужна трехмерная реконструкция из двумерных изображений, а также разработка инструментов для навигации ознаменовали дальнейший важный шаг на пути широкого клинического применения ультразвуковой навигации. Точность локализации, достигаемая при применении во время интракраниальных вмешательств, равна 1 мм [3, 24, 26]. Электромагнитное сопряжение хирургических инструментов и датчика может сгладить недостаток, связанный со смещением мягких тканей [32].

В целом можно сделать вывод, что в ближайшие несколько лет ультразвуковая навигация станет неотъемлемой частью навигации при вмешательствах на голове и шее.

12.5 Трехмерное ультразвуковое исследование

Трехмерное УЗИ дает возможность топографо-анатомического упорядочения данных, получаемых при УЗИ, что облегчает ориентирование. Это особенно важно при визуализации мелких патологических очагов в органе, например в щитовидной железе. До настоящего времени пространственные изображения строились из двумерных ультразвуковых изображений (гл. 2.6.7). В последние годы были разработаны датчики, которые позволяют выполнить трехмерное УЗИ в режиме реального времени [26]. Помимо дальнейшего улучшения качества топографо-анатомического упорядочения данных трехмерная визуализация в режиме реального времени, как уже говорилось, дает возможность осуществления навигации и для интраоперационного применения.

Кроме того, комбинирование трехмерной визуализации с методикой субгармонической визуализации способствовало существенному улучшению контрастности изображений и тем самым повысило диагностическую ценность метода [10].

При помощи трехмерного УЗИ сверхвысокого разрешения удастся получить изображение слоев коллагеновых волокон в тканях. Это имеет большое значение, так как расположение коллагеновых волокон и их слоев во многих злокачественных опухолях меняется [21, 31]. Так, ткань молочной железы при гиперплазии, дисплазии и злокачественном перерождении имеет характерный рисунок расположения коллагеновых волокон, который можно распознать при помощи УЗИ. Это свойство УЗИ повышает диагностическую ценность метода [1].

В процессе дальнейшего усовершенствования трехмерного УЗИ станет возможным при получении изображения рассчитывать расстояния, например от опухолей до крупных сосудов шеи (рис. 12.1). Принцип такого усовершенствования состоит в том, что сначала будет получено двумерное или трехмерное УЗИ в режиме реального времени. Исследуемые анатомические структуры для лучшего изображения маркируются цветом. На основании топографо-анатомических взаимоотношений рассчитываются расстояния, которые оцениваются по прилагаемой цветовой шкале. Трехмерное изображение можно повернуть в любом направлении. Данное усовершенствование даст возможность распознавать опухолевую инфильтрацию сосудистой стенки.

12.6 Ультразвуковое исследование с таргетными контрастными препаратами для молекулярной визуализации

Разработка контрастных веществ в последние годы происходила особенно динамично. Основой контрастных веществ являются микропузырьки, которые под действи-

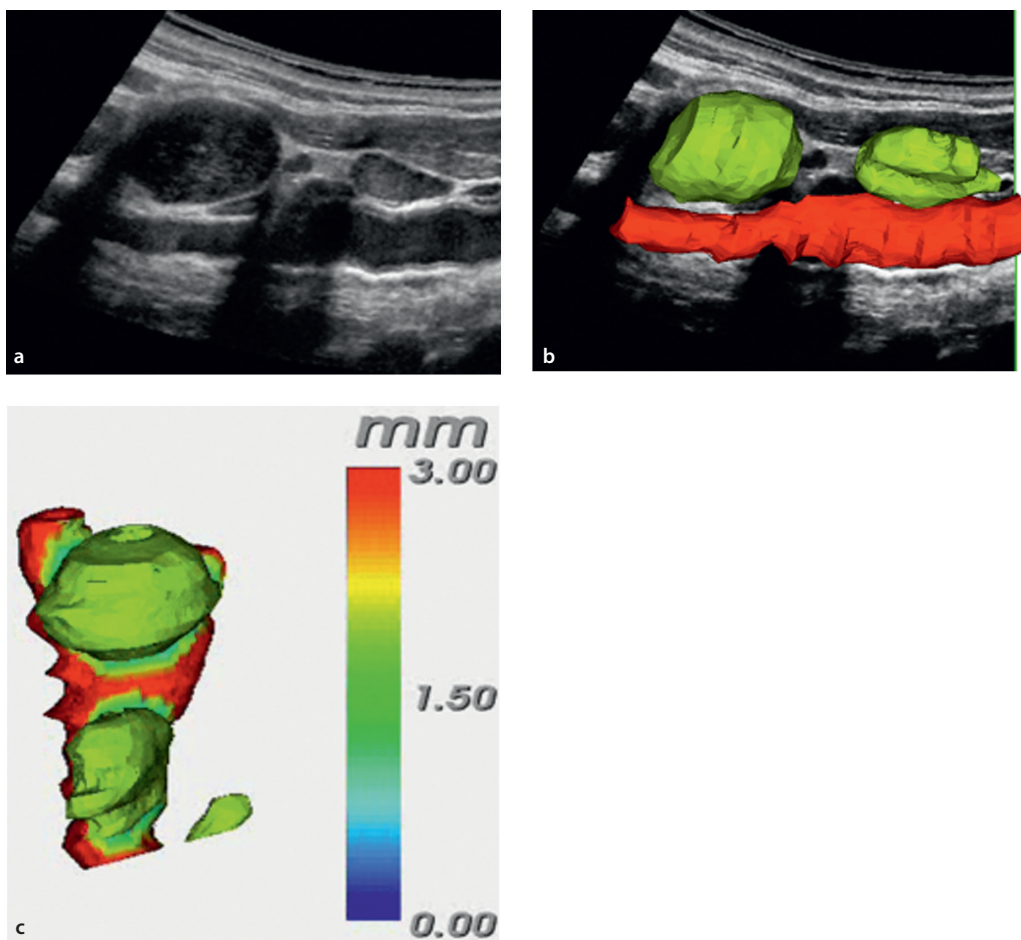


Рис. 12.1 Трехмерное УЗИ шеи. (Фотография приводится с разрешения профессора J.E.Meuer (Гамбург), R.Sandkühler, D.Sandkühler, M.Overhoff (рабочая группа отделения электрической инженерии и прикладных естественных наук Вестфальского университета, Гельзенкирхен), J.E.Meuer из клиники ЛОР-болезней (клиника АСКЛЕПИОС св. Георга в Гамбурге).)

- a** Панорамное изображение при традиционном УЗИ шеи, на основании которого выполнена трехмерная реконструкция тканей шеи. Видно несколько пораженных метастазами лимфатических узлов, расположенных в непосредственной близости от сонной артерии.
- b** Трехмерная реконструкция, выполненная на основании изображения, приведенного на рисунке **a**. Метастазы обозначены зеленым цветом, сонная артерия промаркирована красным цветом.
- c** О расстоянии между метастазами и сонной артерией судят по количественной цветовой шкале. Синий цвет указывает на небольшое расстояние, вплоть до нуля, красный – на расстояние до 3 мм.

ем ультразвука приходят в возбужденное состояние, позволяющее визуализировать микровакуляризацию тканей, что чрезвычайно повышает чувствительность данного метода исследования (см. гл. 2.6.5) [20]. Клиническое применение этих веществ в диагностике опухолей печени, заболеваний почек, состояния после вазоспазма, а также при исследовании перфузии опухо-

лей головы и шеи в настоящее время стало *рутинным* и дает новые возможности для характеристики тканей [4, 6]. Параллельно с разработкой микропузырьковых контрастных веществ создаются многочастотные датчики высокого разрешения, особое достоинство которых заключается в возможности визуализировать с их помощью микрососудистое русло [16].

Под молекулярным изображением понимают распознавание и визуализацию тканей, которые становятся видимыми в результате связывания контрастного вещества с рецепторами на поверхности клеток [16]. И в этом случае используются возможности микропузырьковой технологии, в частности конъюгация поверхности микропузырьков с лигандом клеток. Это приводит к лиганд-специфическому связыванию на исследуемой ткани, которая в результате становится видимой при УЗИ [18, 23]. Другие возможности применения микропузырьков [20, 36]:

- связывание антител с поверхностными молекулами, которые участвуют в процессе ангиогенеза;
- связывание последовательностей нуклеиновых кислот, которые синтезируются в основном опухолевыми клетками для идентификации участков в ткани, где повышена интенсивность ангиогенеза;
- связывание с нанопрепаратами (например, с липосомами, мицеллами, белковыми конъюгатами), которые при определенных параметрах микросреды («кислые» значения pH, измененный метаболизм белков и т.д.) избирательно и специфично связываются опухолевыми клетками (таргетное УЗИ).

Наряду со специфической диагностикой микропузырьки могут найти также *терапевтическое применение*. Разрушение микропузырьков способно вызвать изменение проницаемости клеточных мембран в исследуемой ткани, что позволит ввести лекарственное средство непосредственно внутрь клеток [18, 29].

Получение молекулярного изображения и комбинирование диагностического и терапевтического применения можно рассматривать как области ультразвуковой медицины, в которых в ближайшие годы ожидается значительный прогресс; это также открывает новые горизонты для клинического применения УЗИ.

Литература

- [1] **Ambekar R**, Lau TY, Walsh M et al. Quantifying collagen structure in breast biopsies using second-harmonic generation imaging. *Biomed Opt Express* 2012; 3: 2021–2035
- [2] **Bhatti SN**, Sridhar-Keralapura M. A novel breast software phantom for biomechanical modelling of elastography. *Med Phys* 2012; 39: 1748–1764
- [3] **Bozinov O**, Burkhardt JK, Fischer CM et al. Advantages and limitations of intraoperative 3D ultrasound in neurosurgery. Technical note. *Acta Neurochir Suppl* 2011; 109: 191–196
- [4] **Clevert DA**, Helck A, D’Anastasi M et al. Improving the follow up after EVAR by using ultrasound image fusion of CEUS and MS-CT. *Clin Hemorheol Microcirc* 2011; 49: 91–104
- [5] **Clevert DA**, D’Anastasi M, Jung EM. Contrast-enhanced ultrasound and microcirculation: Efficiency through dynamics – current developments. *Clin Hemorheol Microcirc* 2012 (Epub ahead of print)
- [6] **Cosgrove D**. Ultrasound contrast agents: an overview. *Eur J Radiol* 2006; 60: 324–330
- [7] **Dietrich CF**, Ponnudurai R, Bachmann Nielsen M. Besteht ein Bedarf an neuen Darstellungsmethoden zur Lymphknotenbeurteilung? Editorial. *Ultraschall in Med* 2012; 33: 411–415
- [8] **Ecke U**, Gosepath J, Mann WJ. Initial experience with intraoperative ultrasound in navigated soft tissue operations of the neck and below the base of the skull. *Ultraschall Med* 2006; 27: 49–54
- [9] **Egan KK**, Orloff LA. Interventional ultrasonography. In: Orloff LA, ed. *Head and neck ultrasonography*. San Diego: Plural Publishing; 2008: 241–256
- [10] **Eisenbrey JR**, Sridharan A, Machado P et al. Three-dimensional sub-harmonic ultrasound imaging in vitro and in vivo. *Acad Radiol* 2012; 19: 732–739
- [11] **Fruth K**. Stellenwert der Ultraschalluntersuchung in der HNO einschließlich intraoperativer Sonographic HNO 2010; 59: 131–138
- [12] **Fukada J**, Shigematsu N, Nakashima J et al. Predicting pubic arch interference in prostate brachytherapy on transrectal ultrasonography – computed tomography fusion images. *J Radiat Res* 2012; 53: 753–759
- [13] **Helbig M**, Krysztoforski K, Kroll T et al. Navigation-supported and sonographically-controlled fine-needle puncture in soft tissues of the neck. *Ultrasound Med Biol* 2009; 35: 436–442
- [14] **Helck A**, D’Anastasi M, Notohamprodjo M et al. Multimodality imaging using ultrasound

- image fusion in renal lesions. *Clin Hemorheol Microcirc* 2012; 50: 79–89
- [15] **Holmes PJ**, Miller JR, Gutta R et al. Intraoperative imaging techniques: a guide to retrieval of foreign bodies. *Oral Surg Oral Med Oral Pathol Oral Radiol Endod* 2005; 100: 614–618
- [16] **Hu X**, Zheng H, Kruse DE et al. A sensitive TLRH target imaging technique for ultrasonic molecular imaging. *IEEE Trans Ultrason Ferroelectr Freq Control* 2010; 57: 305–316
- [17] **Jung EM**, Friedrich C, Hoffstetter P et al. Volume navigation with contrast enhanced ultrasound and image fusion for percutaneous interventions: first results. *PLoS One* 2012; 7: e33956, doi:10.1371
- [18] **Kang ST**, Yeh CK. Ultrasound microbubble contrast agents for diagnostic and therapeutic applications: current status and future design. *Chang Gung Med J* 2012; 35: 125–139
- [19] **Khalil JG**, Mott MP, Parsons TW 3rd et al. 2011 Mid-America Orthopaedic Association Dallas B. Phemister Physician in Training Award: Can musculoskeletal tumors be diagnosed with ultrasound fusion-guided biopsy? *Clin Orthop Relat Res* 2012; 470: 2280–2287
- [20] **Kiesling F**, Bzyl J, Fokong S et al. Targeted ultrasound imaging of cancer: an emerging technology on its way to clinics. *Curr Pharm Des* 2012; 18: 2184–2199
- [21] **Lau TY**, Ambekar R, Toussaint KC. Quantification of collagen fiber organization using three-dimensional Fourier transform-second-harmonic generation imaging. *Opt Express* 2012; 20: 21821–21832
- [22] **Liao LJ**, Wang CT, Young YH et al. Real-time and computerized sonographic scoring system for predicting malignant cervical lymphadenopathy. *Head Neck* 2010; 32: 594–598
- [23] **Mauldin FW Jr**, Dhanaliwala AH, Patil AV et al. Real-time targeted molecular imaging using singular value spectra properties to isolate the adherent microbubble signal. *Phys Med Biol* 2012; 57: 5275–5293
- [24] **Mercier L**, Del Maestro RF, Petrecca K et al. New prototype neuronavigation system based on preoperative imaging and intraoperative freehand ultrasound: system description and validation. *Int J Comput Assist Radiol Surg* 2011; 6: 507–522
- [25] **Meyer JE**, Steffen A, Bienemann M et al. Evaluation and development of a predictive model for ultrasound-guided investigation of neck metastases. *Europ Arch Otorhinolaryngol* 2012; 269: 315–320
- [26] **Müns A**, Meixensberger J, Arnold S et al. Integration of a 3D ultrasound probe into neuronavigation. *Acta Neurochir (Wien)* 2011; 153: 1529–1533
- [27] **Renner J**, Georgieva M, Schreyer AG et al. Image fusion of contrast enhanced ultrasound (CEUS) with computed tomography (CT) or magnetic resonance imaging (MRI) using volume navigation for detection, characterization and planning of therapeutic interventions of liver tumors. *Clin Hemorheol Microcirc* 2011; 49: 67–81
- [28] **Rud E**, Baco E, Eggesboe HB. MRI and ultrasound-guided prostate biopsy using soft image fusion. *Anticancer Res* 2012; 32: 3383–3389
- [29] **Sanches PG**, Grill H, Steinbach OC. See, reach, treat: ultrasound-triggered image-guided drug delivery. *Ther Deliv* 2011; 2: 919–934
- [30] **Stieve M**, Issing PR, Mack KF et al. Indikationen für den intraoperativen Ultraschall bei Eingriffen im Kopf-Hals-Bereich. *Laryngorhinootologie* 2012; 91: 422–426
- [31] **Uchugonova A**, Zhao M, Weinigel M et al. Multiphoton tomography visualizes collagen fibers in the tumor microenvironment maintain cancer cell anchorage and shape. *J Cell Biochem* 2012; doi: 10.1002/jcb.24305
- [32] **Ungi T**, Abolmaesumi P, Jalal R et al. Spinal needle navigation by tracked ultrasound snapshots. *IEEE Trans Biomed Eng* 2012; 59: 2766–2772
- [33] **Wein W**, Röper B, Navab N. Automatic registration and fusion of ultrasound with CT for radiotherapy. *Med Image Comput Comput Assist Interv* 2005; 8: 303–311
- [34] **Zenk J**, Bozzato A, Hornung J et al. Neck lymph nodes: prediction by computer-assisted contrast medium analysis? *Ultrasound Med Biol* 2007; 33: 246–253
- [35] **Zhang J**, Wang Y, Dong Y et al. Computer-aided diagnosis of cervical lymph nodes on ultrasonography. *Comput Biol Med* 2008; 38: 234–243
- [36] **Zhu L**, Torchilin VP. Stimulus-responsive nanopreparations for tumor targeting. *Integr Biol (Camb)* 2012 (Epub ahead of print)

Алфавитный указатель

А

Абсцесс

- перитонзиллярный, 88, 102
- шеи, 58–59

Автономия щитовидной железы мультифокальная, 133

Аденома

- базальноклеточная, 116
- унифокальная автономная, 132

Амплитуда, 18

- эхо-сигнал, 21, 29

Аневризма сонной артерии, 100–101

Анестезия регионарная, 156

Аппарат

- исследование в А-режиме, 12–13
- ультразвуковой, 22
 - больные тучные, 42
 - кристалл, 22
 - настройки базовые, 40–42
 - усиление общее, 42
 - шум электронный, близость к другим аппаратам, 37

Артерия (и)

- перфорирующие, 157
- позвоночная, исследование доплеровское, 51
- сонная внутренняя, 44–45
 - бляшка атеросклеротическая, 99
 - исследование доплеровское, 50–51
 - кривые доплеровские, 31
 - пальпация акустическая, 94
- сонная наружная, 44
 - исследование доплеровское, 50–51
 - кривые доплеровские, 31
 - пальпация акустическая, 94
- сонная, 42–44, 99–100
 - аневризма, 100, 101
 - инфильтрация опухолевая, 81
 - исследование доплеровское, 50–51, 66
 - кривые доплеровские, 31

- метастазирование, 93

- метастазы плоскоклеточного рака в лимфатический узел, 67

- пальпация акустическая, 94

- прорастание опухоли, 92

- пульсация, 40

- язычная, 48

Артефакты, 35, 36

Атерома, 54

Атеросклероз сонных артерий, 99

- исследование доплеровское, 100

Б

Бифуркация общей сонной артерии, 44

- бляшка атеросклеротическая, 100

- картирование цветное доплеровское, 33

- липома, 55

- невринома, 56

- параганглиома, 55

- смещение опухолью каротидного гломуса, 55, 97

Бляшка атеросклеротическая, 100

Болезнь

- базедова, 127, 129, 131

- Ходжкина, 118

Боррелиоз, 109

В

Вена (ы)

- занижнечелюстная, 50

- лицевая, 44

- пальпация акустическая, 94

- плечеголовная, 46

- подключичная, пункция под ультразвуковым наведением, 156

- установка центрального венозного катетера, 156

- яремная внутренняя, 40, 42, 43, 45

- прорастание опухоли, 92