

612.
П708

С.И. ГОРШКОВ
О.Н. ГОРБУНОВ
Г.А. АНТРОПОВ

**Биологическое действие
ультразвука**

612,
Г. 208.

С. И. ГОРШКОВ,
О. Н. ГОРБУНОВ
Г. А. АНТРОПОВ,

БИОЛОГИЧЕСКОЕ
ДЕЙСТВИЕ
УЛЬТРАЗВУКА

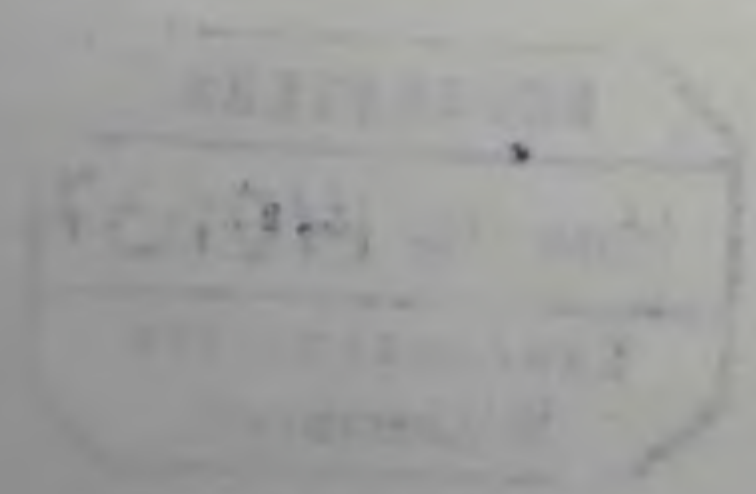
БИБЛИОТЕКА
Инв № 140637
Самарьинского
Института



ИЗДАТЕЛЬСТВО «МЕДИЦИНА»
МОСКВА — 1965

УДК 612.014.45+613.644

СОВЕТСКИЙ СОЮЗ
МИНИСТЕРСТВО
ЗДРАВООХРАНЕНИЯ



5-3-1

6-65

ВВЕДЕНИЕ

Ультразвук уже около 50 лет применяется в технике, промышленности, медицине и научных исследованиях. Особенно широко он стал использоваться в последние 25 лет.

В настоящее время ультразвук с успехом служит для дефектоскопии металлов и бетона, эмульгирования различных веществ, очистки промышленных деталей, стирки белья, сверления отверстий и образования углублений в твердых телах. В медицине он применяется для прогревания глубоколежащих тканей, массажа и в целях диагностики.

Вынужденное соприкосновение с ультразвуком большого числа работающих с ультразвуковыми силовыми приборами выдвинуло ряд новых гигиенических задач, в первую очередь вопрос об оценке его влияния на организм. Возникла необходимость изучения действия ультразвука, образующегося побочно при работе ряда мощных производственных установок и большого числа уже давно используемых для лечебных целей ультразвуковых медицинских аппаратов. В последнем случае приобретает значение тот факт, что оставалась неопределенной оптимально допустимая доза терапевтического применения ультразвука, а также не изучена степень влияния его на обслуживающий ультразвуковые установки персонал.

Первые биологические эксперименты были поставлены в основном применительно к задачам медицины с целью выяснить влияние на организм контактного облучения ультразвуком высоких частот (порядка нескольких сотен килогерц), которые используются при лечении ряда заболеваний. Многостороннему изучению подверглось и действие в основном высокочастотных ультразвуковых колебаний на микроорганизмы и растения. И только в последние годы были начаты исследования биологического действия ультразвука низкочастотного диапазона, применяемого в промышленности или образующегося в условиях производства побочно.

Некоторые данные говорят о том, что при известных условиях ультразвук может оказать очень сильное воздействие на организм. Так, в Испании были проведены эксперименты на 80 добровольцах, которых подвергали в течение нескольких часов действию шума и низкочастотного ультразвука реактивных двигателей. Результат оказался самым неожиданным и трагическим. Из 80 человек 28 погибли, а у остальных возникли стойкие парезы и параличи.

Гигиенические исследования на производстве, а также эксперименты на животных в лабораторных условиях показали, что при определенных условиях (легкая одежда, длительность облучения, высокая интенсивность ультразвука и т. д.) он может оказать повреждающее действие на организм. Однако в этом вопросе еще много неясного и разноречивого.

Уже сейчас по поводу ультразвука как фактора производственной среды человека имеются прямо противоположные мнения. Одни авторы (Koelsch, 1959; В. М. Григорьева, 1963) считают, что ультразвук не воспринимается органом слуха и тем самым не может оказывать вредного действия на организм человека; другие (Н. А. Ефимов и В. С. Лукьянов, 1964), основываясь на профпатологических данных, выдвигают предположение об «ультразвуковой болезни».

Наличие таких прямо противоположных точек зрения указывает на то, что этот вопрос подлежит углубленному изучению.

Следует отметить, что в отечественной литературе очень мало источников, содержащих систематизированные данные по вопросам биологического действия ульт-

развуковых волн. Очень кратко освещаются они в книге Н. П. Крылова и В. И. Рокитянского (1958), лишь в той степени, которая необходима для понимания лечебного действия ультразвука. Более подробно действие ультразвука на ткани животного организма изложено в докторской диссертации А. Н. Онанова (1957). Наконец, в 1963 г. Физматгизом была издана книга И. Е. Эльпинера, представляющая собой обобщение большого литературного и собственного материала автора по вопросам физико-химического действия ультразвука. В ней автор освещает также ряд вопросов действия высокочастотных ультразвуковых волн на биологические объекты, в частности довольно подробно излагается влияние ультразвука на микроорганизмы.

В то же время в отечественной и зарубежной литературе отсутствуют работы, обобщающие материалы по биологическому действию низкочастотного ультразвука, распространяющегося в воздухе, с чем мы встречаемся в промышленности. И это несмотря на то, что в связи с быстрым расширением сферы применения ультразвука в народном хозяйстве вопросы гигиены промышленного ультразвука приобретают с каждым годом все большее значение. У работающих на ультразвуковых установках выявляются изменения со стороны нервной системы, слуховой и вестибулярной функций, состава крови и т. д. Изучение этой проблемы показывает, что ультразвук как физический фактор производственной среды требует гигиенического нормирования.

При этом, однако, необходимо иметь в виду, что изучение особенностей биологического действия ультразвука низкой частоты, применяемого в промышленности, требует ввиду его легкого распространения через воздушную среду новых методических приемов.

Здесь в первую очередь необходимо обратить внимание на значение общего и местного воздействия ультразвука и их различие, на роль в рецепции ультразвука органа слуха, вестибулярного аппарата и всей поверхности тела вообще, на значение аддитивности биологического действия ультразвука.

Специально для решения гигиенических вопросов применения низкочастотного ультразвука большое значение имеет установление пороговой интенсивности ультразвука при однократных и повторных озвучивани-

ях разной продолжительности, а также установление особенностей действия надпороговых доз.

В целях разработки мер профилактики и защиты от ультразвука важно установить особенности действия ультразвука на фоне сильного нервного напряжения или большой физической нагрузки, на фоне покоя или даже торможения. Большое значение имеет при этом изучение комбинированного действия ультразвука и таких физических факторов среды, как шум, радиоактивные излучения, вибрация и т. д.

Авторы настоящей книги ставили своей целью познакомить широкий круг биологов, врачей (гигиенистов и лечебников), научных работников — физиологов труда и гигиенистов, а также инженеров по технике безопасности с вопросами биологического действия ультразвука в основном применительно к действию на макрообъекты при распространении его через воздух, что имеет место в производственных условиях. При этом учитывается известная общность в биологическом действии ультразвука разных частот.

Книга написана на основании данных отечественной и зарубежной литературы, а также собственных исследований авторов.

УЛЬТРАЗВУК КАК ФАКТОР ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ ЧЕЛОВЕКА

1. РАСПРОСТРАНЕННОСТЬ УЛЬТРАЗВУКА

Некоторое время тому назад считалось, что ультразвук редко встречается во внешней среде человека. Сейчас же определенно можно сказать, что человек живет в мире ультразвуков (Е. Ц. Андреева-Галанина, 1960). Исследования показали, что имеется много естественных источников ультразвука. Его излучают многие животные (позвоночные и беспозвоночные), моря и океаны, леса и джунгли. Некоторые животные, в частности летучие мыши, дельфины, киты и др., используют ультразвук для направления своего движения по принципу улавливания отраженных волн. Многие явления природы — молния и гром, сильный ветер, песчаные бури, снежные бураны, горные обвалы — также являются источником ультразвуковых колебаний.

Интенсивность природных источников ультразвуковых колебаний колеблется в широких пределах. Так, самцы прямокрылых, сверчков и цикад излучают ультразвук, сила которого на расстоянии 30 см от источника составляет около 90 дб. Джунгли, моря и океаны создают ультразвуки интенсивностью порядка 55 дб при частоте 20 кгц.

Все природные источники образуют так называемый естественный фон ультразвуковых колебаний. Этот фон, будучи составной частью естественной среды обитания человека, очевидно, так же, как и естественный радиоактивный фон, действует на него и вызывает в нем какие-

то биологические реакции приспособления, которые, однако, до сих пор не изучены.

Помимо естественного фона, человек все чаще подвергается действию более высоких уровней силы ультразвука, возникающего за счет различных искусственных источников. Искусственными генераторами ультразвука являются сирены, реактивные двигатели (самолетные и ракетные) (Grognot, Lehmann, 1950), промышленные установки для физической обработки деталей, разнообразные научно-исследовательские аппараты, терапевтические приборы и т. д. В настоящее время с помощью ультразвука сверлят, сваривают разные металлы, очищают поверхность различных изделий от примесей, производят измерение толщины, определяют качество литья и сварных конструкций, разрушают горные породы, в медицине проводят ультразвукоскопию тканей, глубокое их прогревание, массаж и т. д.

В целом, как видно из всего изложенного, разнообразные источники ультразвука могут быть распределены на следующие группы: 1) источники, образующие естественный ультразвуковой фон; 2) искусственные источники, которые можно разделить на: а) генераторы ультразвука для технологического использования в промышленности, медицине и научных исследованиях и б) генераторы ультразвука, в которых он образуется как побочный фактор.

Разные источники дают различную интенсивность, которая колеблется от едва уловимой, излучаемой природными источниками, до биологически активной, создаваемой промышленными установками.

Различна и частота ультразвука, действию которого подвергается человек в природных и производственных условиях. Так, в технике обычно применяется низкочастотный ультразвук (20—100 кгц), в то время как в научно-исследовательской и лечебной практике — ультразвук с частотой от сотен килогерц до нескольких мегагерц. Так, например, для стерилизации сыворотки крови и плазмозамещающих растворов применяются частоты порядка 380—950 кгц (В. М. Малкина, 1962). Для выделения биологически активных веществ (токсинов и ферментов) из клеток и тканей эффективным оказался ультразвук частотой 800 кгц (Н. В. Ильичевич, А. И. Вышатица, 1962). Для лечебных целей приме-

няется, как правило, ультразвук частотой 800—1000 кгц, и в редких случаях до 3000 кгц (М. Д. Гуревич, 1962), в то время как для диагностических целей используется ультразвук частотой от 1 до 15 мгц, так как более высокие частоты дают возможность получить более мелкие детали изображения (М. Д. Гуревич, Н. Ф. Свадковская, 1961).

2. ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА УЛЬТРАЗВУКА

Под ультразвуками в физике понимают колебания упругой среды, превышающие частоту 16—20 кгц, которые не улавливаются органом слуха человека. Однако колебания более высокой частоты могут быть слышимы многими животными. По данным А. В. Бару (1962), верхние границы слуха собак, крыс, кошек и дельфинов составляют соответственно 38, 55, 60 и 120 кгц.

Хотя ультразвуковые колебания и подчиняются в основном тем же закономерностям, что и звуковые волны, все же более высокая частота колебаний придает им некоторые особенности.

Как известно, звуковые волны распространяются во все стороны от источника звука. Например, звук заводского гудка совершенно одинаково разносится во все стороны от завода. Шум улицы, проникающий через открытую форточку, практически одинаково слышен во всех точках комнаты, а не только против форточки. Это объясняется относительно большой длиной волны слышимых звуков, которая составляет от нескольких сантиметров до 15—20 м. В связи с этим окружающие нас предметы, размеры которых не превышают 15—20 м, не являются препятствием для звуковых волн — они обтекают их, не давая звуковой тени.

Длина волны ультразвуковых колебаний высокочастотного диапазона очень мала. Как видно из рис. 1, длина волны в тканях тела при частотах 150—1000 кгц лежит в пределах от 10 до 1,4 мм. В силу этого ультразвук, подобно свету, дает звуковые тени и может быть получен в виде узкого пучка.

Эти качества ультразвука имеют большое значение для применения его в биологии и медицине. Возмож-

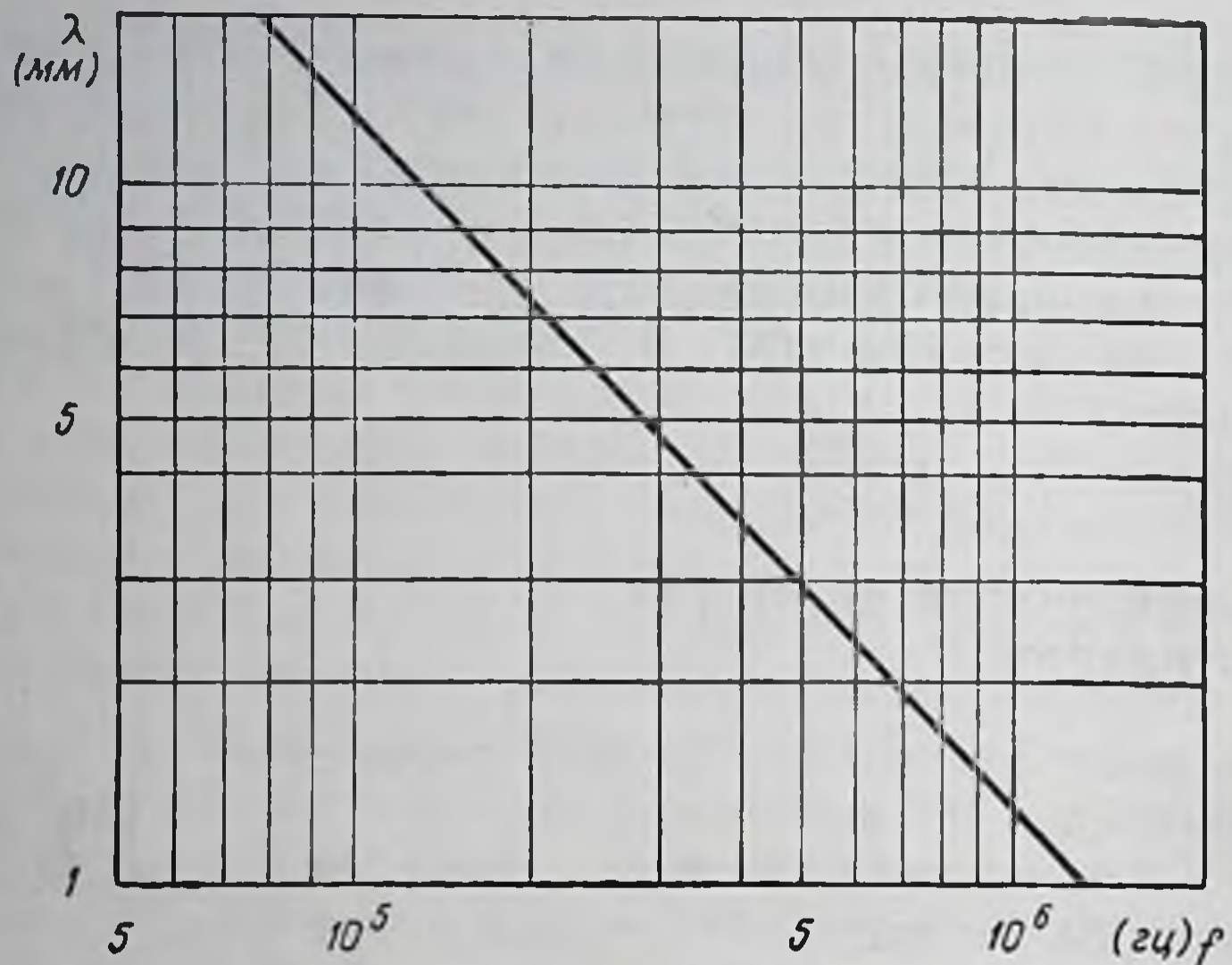


Рис. 1. Зависимость длины волны λ (в мм) от частоты ультразвукового излучения f (в герцах) в тканях тела (по Thiede, 1950).

ность образования ультразвуковых пучков позволяет не только сосредоточивать всю энергию ультразвука в нужном направлении, но и фокусировать ее в определенное место. Звуковые линзы, по форме очень напоминающие обычные оптические линзы, широко применяются в медицине (Beier, Dögner, 1954). Фокусирование ультразвука имеется и в биологических объектах. Многие мелкие организмы, например насекомые, могут совершенно свободно издавать ультразвуки очень большой интенсивности (порядка 90 дб), что для них является весьма целесообразным, так как генерация такого сильного звука низкой частоты ввиду малых анатомических размеров тела для них, неосуществима. Другое дело — ультразвук. Его интенсивность возрастает пропорционально квадрату амплитуды и частоты колебаний, в связи с чем при повышении частоты относительно легко могут быть получены ультразвуки огромной силы. Физические расчеты показывают, что при частоте 500—1000 кгц без труда удастся получить силу звука порядка 10 вт/см^2 , что превосходит силу звука при пушечном выстреле в 1000 раз, а силу звука громко-

говорителя — в $1 \cdot 10^9$ раз. Если при этом объектами воздействия ультразвука являются организмы, то, естественно, он может оказать на них повреждающее действие.

Аналогично световому лучу ведет себя ультразвуковой пучок на границе двух различных сред, например воды и кожи, подкожножировой клетчатки и мышцы и т. д. В этом случае часть ультразвуковой энергии переходит во вторую среду в виде такого же пучка, только меньшей интенсивности, а другая часть отражается. Часть ультразвуковой энергии, переходящая во вторую среду, будет тем больше, чем ближе друг к другу акустические сопротивления¹ обеих сред.

Если величины акустических сопротивлений сред разнятся очень сильно, то вся энергия ультразвукового пучка отражается. Практически 100% отражение имеется, например, на границе жидкости и воздуха. Это обусловлено тем, что отношение акустических сопротивлений данных сред близко к нулю из-за крайне незначительного акустического сопротивления воздуха, которое равно $1,29 \cdot 340$ кг/м²/сек. Значительно разнятся акустические сопротивления мягких тканей тела и костей, поэтому коэффициент отражения на границе их также очень велик. Так, по данным Schlierhake (1940), при переходе ультразвуковых волн из мягких тканей головы в височную кость отражается до 70% ультразвуковой энергии. Если же величины акустических сопротивлений сред одинаковы, то вся энергия ультразвукового пучка переходит во вторую среду. Например, очень близки друг к другу акустические сопротивления различных мягких тканей живых организмов и воды. В исследованиях Ludwig (1950), Pätzold, Guthert и Bastir (1952) они отличались не более чем на 10%. В связи с тем что эти данные представляют определенный интерес, приводим таблицы из работ указанных авторов (табл. 1, 2).

Учитывая приведенные выше данные, при использовании в медицине ультразвуковых колебаний высоких частот строго следят, чтобы между излучающей головкой ультразвукового генератора и тканями тела не было ни малейшей прослойки воздуха. По данным А. М. Ры-

¹ Акустическое сопротивление среды равно произведению ее плотности (г/см³) на скорость распространения ультразвуковых колебаний в этой среде (см/сек).

Таблица 1

СКОРОСТЬ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ,
ПЛОТНОСТЬ И АКУСТИЧЕСКОЕ СОПРОТИВЛЕНИЕ
РАЗЛИЧНЫХ ТКАНЕЙ ЧЕЛОВЕКА И ЖИВОТНЫХ (по LUDWIG)

Объект	Скорость ультразвуко- вых колеба- ний, м/сек	Плотность, г/см ³	Акустическое сопротивление, 10 ⁵ г/см ² /сек
Мозг собаки	1 515	1,028	1,56
» свиньи	1 506	1,026	1,55
Селезенка свиньи	1 515	1,059	1,60
Печень »	1 553	1,064	1,65
Почки »	1 557	1,040	1,62
Мышечная ткань коровы	1 575—1 585	1,068	1,68—1,69
Ткани человека	1 490—1 610	1,060	1,58—1,70
Среднее для тканей	1 540	1,060	1,63
Среднее для воды (по Vergman)	1 497	0,997	1,49

Таблица 2

ОТНОШЕНИЕ АКУСТИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ
РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТЕЙ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ТЕЛА (C_r)
И АКУСТИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ВОДЫ (C_b)
(по PÄTZOLD, GUTTNER, BASTIR)

Объект	Отношение акустических сопротивлений C_r/C_b
Кисть руки	1,1
Предплечье	1,0
Плечо	1,1
Голень	0,97
Щека	1,1
Лобная пазуха	0,9—0,93
Грудная клетка	1,1
Мышцы (слой 10 мм)	0,93
Костный мозг	1,1

Бакова и Л. С. Новикова (1956), слой воздуха даже в 0,1 μ приводит к практически полному отражению ультразвуковых волн.

Передача ультразвуковой энергии от излучающей головки тканям тела обеспечивается применением кон-

тактных «безвоздушных» сред (кипяченая вода, трансформаторное масло, вазелин и др.).

Большое значение имеет также угол, под которым ультразвуковой пучок падает на пограничный слой. Чем больше падающий пучок ультразвука отклоняется от перпендикуляра к поверхности среды, тем большая часть энергии отражается на границе раздела. Кроме того, от угла падения зависит в очень большой степени и направление ультразвукового пучка в новой среде, так как в тех случаях, когда ультразвуковая волна падает наклонно к поверхности раздела сред, имеется явление преломления (Сгин и. апд., 1953).

Существенным отличием ультразвуковых колебаний от обычных звуковых волн является возможность получения больших мощностей. Интенсивность звуков, воспринимаемых нашим ухом, очень мала. Мощность в одну миллиардную ватта мы уже воспринимаем как громкий звук. Значительное увеличение частоты колебаний, характерное для ультразвука, позволяет передавать большую энергию механических колебаний, создавая очень высокие плотности звука (десятки и сотни ватт на 1 см^2).

С распространением интенсивных ультразвуковых колебаний в жидких средах связано явление ультразвуковой кавитации. Процесс кавитации весьма важен для оценки действия ультразвука высокой интенсивности на биологические объекты. И хотя вопрос о возможности образования кавитационных пузырьков в тканях остается открытым до сих пор (Бергман, 1957), многие авторы рассматривают процесс кавитации как один из возможных механизмов биологического действия ультразвука. Более подробно мы остановимся на этом ниже при рассмотрении вопроса о современных воззрениях на механизм биологического действия ультразвуковых волн.

Биофизическое действие ультразвука, как известно, неразрывно связано также с переменным акустическим давлением и с силами, развивающимися вследствие больших ускорений частиц в озвучиваемых тканях. Особенно велики ускорения колеблющихся частиц среды. По данным А. М. Рыбакова и Л. С. Новикова (1956), при воздействии ультразвука частотой 1 мгц и интенсивностью 1 вт/см^2 в мышечной ткани возникают ускоре-

ния, равные $10^5 g^1$. Чтобы яснее представить, как велики такие ускорения, заметим, что они имеются в ультрацентрифугах с числом оборотов 20 000 в минуту.

Следует еще отметить большое поглощение ультразвуковых колебаний высокочастотного диапазона при распространении их в различных средах, особенно в вязких. Коэффициент поглощения, так же как и величина ускорения колеблющихся частиц, изменяется пропорционально квадрату частоты ультразвуковых колебаний. Следовательно, при прочих равных условиях увеличение частоты в 10 раз обуславливает повышение поглощения в 100 раз. В связи с большим поглощением тканями для высокочастотного ультразвука характерна высокая степень теплообразования, которое в значительной степени определяется физическим процессом поглощения энергии ультразвуковых колебаний. 80% поглощаемой тканями ультразвуковой энергии связано, по-видимому, с молекулярными компонентами, поскольку этот процент не изменяется после разрушения структуры тканей (Schwan, 1959).

3. ФИЗИЧЕСКОЕ И ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАЗВУКА

При возбуждении в упругой среде интенсивного ультразвука в ней возникает целый ряд физических и физико-химических эффектов. К их числу, например, следует отнести явление кавитации в смешанной среде жидкость — газ. Под кавитацией в гидродинамике понимают образование в жидкости пустот. Это явление наблюдается только в очень интенсивных ультразвуковых полях (табл. 3). Söllner (1936) показал, что кавитация возникает особенно легко вблизи поверхностей раздела. Для этого необходимо, чтобы в облучаемой среде были растворены газы. Согласно исследованиям Harvey (1930), Bondy (1935) и Söllner (1936), в вакууме и при высоких внешних давлениях кавитация не возникает.

¹ g — ускорение свободного падения, равнос 9,8 м/сек².

Таблица 3

ПЕРЕМЕННОЕ ЗВУКОВОЕ ДАВЛЕНИЕ И СИЛА
ЗВУКА, НЕОБХОДИМЫЕ ДЛЯ ВОЗБУЖДЕНИЯ
КАВИТАЦИИ В ВОДОПРОВОДНОЙ ВОДЕ
ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТОТАХ

Частота, кгц	Для возбуждения кавитации необходимо	
	звуковое давление, атм	сила звука, вт/см ²
15	0,5—2,0	0,16—2,6
175	4	10
365	7—20	33—270
500	12—25	100—400
3 300	230—300	35 000—60 000

Л. Д. Розенберг (1957) отмечает, что кавитация оказывает колоссальное разрушающее действие. По его мнению, минутное действие кавитации за счет облучения интенсивным ультразвуком частотой 25 кгц сравнимо с работой молотобойца по 8 часов ежедневно в течение 2 месяцев. Эффект кавитации как результат действия ультразвука интересен также и тем, что он может возникать в биологических тканях, которые для этого являются подходящей средой.

Помимо кавитации, в среде жидкость — газ легко возникают такие явления, как турбулентные, вихревые течения. По данным Pfigsch (1956), наиболее оптимальной частотой для возникновения этих процессов является 350 кгц. На границе жидкость — твердое тело ультразвук оказывает диспергирующее действие (Richards, 1929; Bull, 1932; Söllner, 1939). Очень важной особенностью действия ультразвука является его способность расщеплять сложные молекулы вещества на более мелкие и простые. Laland, Overend, Stacey (1950), Goldstein и Stern (1950) расщепляли с помощью ультразвука нуклеиновые кислоты на простые полинуклеотиды, И. Е. Эльпинер и С. М. Бычков (1952) ультразвуком частотой 500 кгц провели деполимеризацию гиалуроновой и хондроитинсерной кислот. Schmidt (1940) считает, что причиной ультразвуковой деполимеризации являются силы трения, возникающие в жидкости при колебании ее молекулы со скоростью 40 см/сек: по-видимому,

наиболее сильное деполимеризующее действие оказывает ультразвук частотой около 300 кгц, при которой в среде жидкость — газ возникают наиболее сильные, вихревые, турбулентные течения.

По вопросу о механизме и характере химических процессов, имеющих при воздействии ультразвуковых волн большой интенсивности, существуют различные точки зрения. Долгое время считалось непреложной истиной представление об исключительно окисляющем действии ультразвука при обязательном участии в акте окисления молекул кислорода. В последнее время, однако, большинство склоняется к тому, что в возникновении химических реакций более важную роль имеют фото- и электрохимические процессы, развивающиеся в кавитационных полостях. Кавитационная электрохимическая теория была высказана и обоснована известным советским физиком Я. И. Френкелем (1940). Он исходит из того, что при разрыве жидкой среды, возникающем в месте разрежения, образуется линзообразная полость, на стенках которой появляются электрически заряженные частицы (ионы). Из-за флюктуаций распределение ионов, как правило, бывает неравномерным, в результате чего противоположные стенки возникающей полости должны в общем иметь заряды противоположного знака. При этих условиях в кавитационной полости возникает электрическое поле и полость будет представлять собой своеобразный плоскопараллельный конденсатор. Г. Л. Натансон (1948), развивая мысль Я. И. Френкеля, вывел даже формулу для вычисления величины электрического поля в полостях, образуемых при кавитации жидкости ультразвуком. Для одно-одновалентного электролита:

$$E = 4\pi E \sqrt{\frac{N}{Sx}}$$

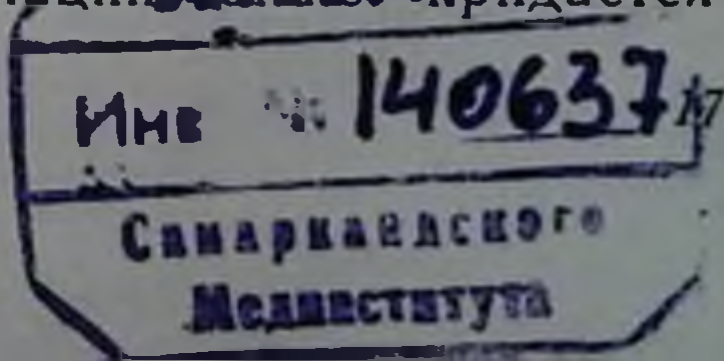
где: E — заряд одновалентного иона; N — число диссоциированных молекул в единице объема; S — площадь сечения кавитационного пузырька; x — дебаевский обратный радиус ионной атмосферы. В определенных условиях радиус пузырька относительно большой по сравнению со средней длиной свободного пробега электронов в газе, и при небольшом давлении паров в полости между

стенками может произойти электронный пробой. При этом Я. И. Френкель ссылается на явление свечения жидкостей в ультразвуковом поле, наблюдавшееся многими исследователями и подробно изученное В. Л. Левшиным и С. Н. Ржевкиным (1937). Эти авторы установили, что свечение воды во время озвучивания ее ультразвуком локализовано в кавитационных пузырьках. А так как преобладающая часть излучения при электронном пробое лежит в ультрафиолетовой части спектра, Я. И. Френкель делает вывод о фотохимической природе химических процессов, возникающих при облучении жидких сред ультразвуком.

Наличие свободно движущегося электрического заряда в кавитационном пузырьке вызывает дополнительную ионизацию молекул веществ, присутствующих здесь в газообразном состоянии, и в первую очередь молекул воды.

В результате ионизации молекулы воды расщепляются с образованием нейтральных, валентно ненасыщенных, свободных радикалов (ОН, НО₂ и др.) и атомарного водорода, обладающих большой реактивной способностью (Я. И. Френкель, 1940; Ruidhomme, Gabaug, 1949; И. Е. Эльпинер, 1951). Считается, что именно появление столь активных в химическом отношении продуктов расщепления ионизированных молекул воды обуславливает распад аминокислот и белка, деполимеризацию нуклеиновых кислот, инактивацию ферментов, расщепление пуриновых соединений и других биологически активных веществ (И. Е. Эльпинер, А. В. Герасимова, 1952). Это представление основывается на том факте, что введение в озвучиваемые растворы веществ, обладающих большим химическим сродством к свободным гидроксильным радикалам и атомарному водороду, угнетает перечисленные выше процессы (И. Е. Эльпинер, Ц. Б. Кац, 1952; И. Е. Эльпинер, М. Д. Сурова, 1953). Процессы окисления в поле ультразвуковых волн усиливаются, несомненно, и тем, что в кавитационных пузырьках также ионизируется молекулярный кислород. Предварительным удалением молекул кислорода из озвучиваемой жидкости удастся затормозить процессы окисления, но не прекратить их совсем.

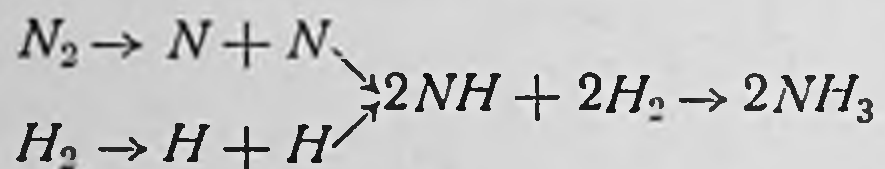
Как известно, в механизме так называемого непрямого действия ионизирующей радиации ~~также~~ ~~присутствует~~



большое значение влиянию активных радикалов. Как предполагается, атомарный водород и кислород и перекись водорода могут оказывать сильное химическое действие на окружающий их субстрат.

Возможно, именно это является причиной сходства между биологическим действием ультразвука и действием ионизирующей радиации.

При диссоциации молекул растворенных в воде газов происходит синтез ряда веществ. Например, в присутствии азота, а он всегда имеется в составе аминокислот и белков, в воде образуется аммиак:



Если же к реакционной смеси добавляется еще и СО, то одновременно с NH₃ синтезируются формальдегид и синильная кислота. Аналогичные результаты получают при замене в данной газовой смеси окиси углерода метаном (А. В. Сокольская, И. Е. Эльпинер, 1957; И. Е. Эльпинер и А. В. Сокольская, 1958).

В присутствии в растворе молекулярного азота и кислорода под влиянием ультразвука образуются окись и двуокись азота, которые взаимодействуют с водой и образуют азотистую и азотную кислоты. Все эти соединения играют, по-видимому, значительную роль в механизме биологического действия ультразвука, так как являются ядовитыми для животных и растительных клеток.

Интересен термический эффект ультразвука. Он проявляется заметным повышением температуры облучаемого объекта, если он содержит определенное количество жидкости. Особенно сильно нагреваются поверхности раздела двух облучаемых ультразвуком сред. Freundlich, Söllner и Rogowski (1932) отметили большое выделение тепла в облучаемом масле, если в него помещались стеклянные шарики или дробь. Установлено, что в биологическом объекте величина поглощаемой энергии ультразвука зависит от состава тканей. В более неоднородных тканях поглощение энергии, а следовательно, и выделение тепла являются наибольшими; такими тканями, по данным, приводимым И. Г. Полоцким и С. С. Уразовским (1946), являются ткани мозга, печени, жировая ткань, поперечнополосатая мускулатура и др.

4. ПОГЛОЩЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА ТКАНЯМИ ЖИВОТНОГО ОРГАНИЗМА И ПРЕВРАЩЕНИЕ ЭНЕРГИИ УЛЬТРАЗВУКА В ОРГАНИЗМЕ

Основой биологического действия ультразвука является, несомненно, способность его поглощаться тканями тела человека и животных. О степени поглощения ультразвука в биологических объектах судят по той глубине его проникновения в ткани, на которой интенсивность ультразвука ослабляется в 2 раза (табл. 4, рис. 2).

Таблица 4

ПОГЛОЩЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА
ТКАНЯМИ ЧЕЛОВЕЧЕСКОГО ТЕЛА
[по RONLMAN (1933) и HUTNER (1948)]

Ткань	Глубина (в см), соответствующая уменьшению интенсивности ультразвука в 2 раза при частоте	
	800 кгц	2 400 кгц
Почки	3,7	1,3
Печень	5,0	1,7
Сердце	2,6	0,9
Мышечная	3,6	—
Жировая	6,8	—
Жировая и мышечная	4,9	1,5

Как видно из табл. 4 и рис. 2, поглощение ультразвука возрастает с увеличением его частоты.

Энергия поглощенного ультразвука претерпевает в организме ряд превращений, главнейшими путями которых являются образование тепла, возникновение механических сил и химические превращения.

Механическое действие ультразвука связано с переменным звуковым давлением. При распространении ультразвуковых колебаний в тканях тела ткань то сжимается, то растягивается. Зависимость максимального смещения клеток от частоты и интенсивности ультразвука показана на рис. 3. Оно находится в прямой зависимости от мощности ультразвукового потока и уменьшается с увеличением частоты. В то же время из графика

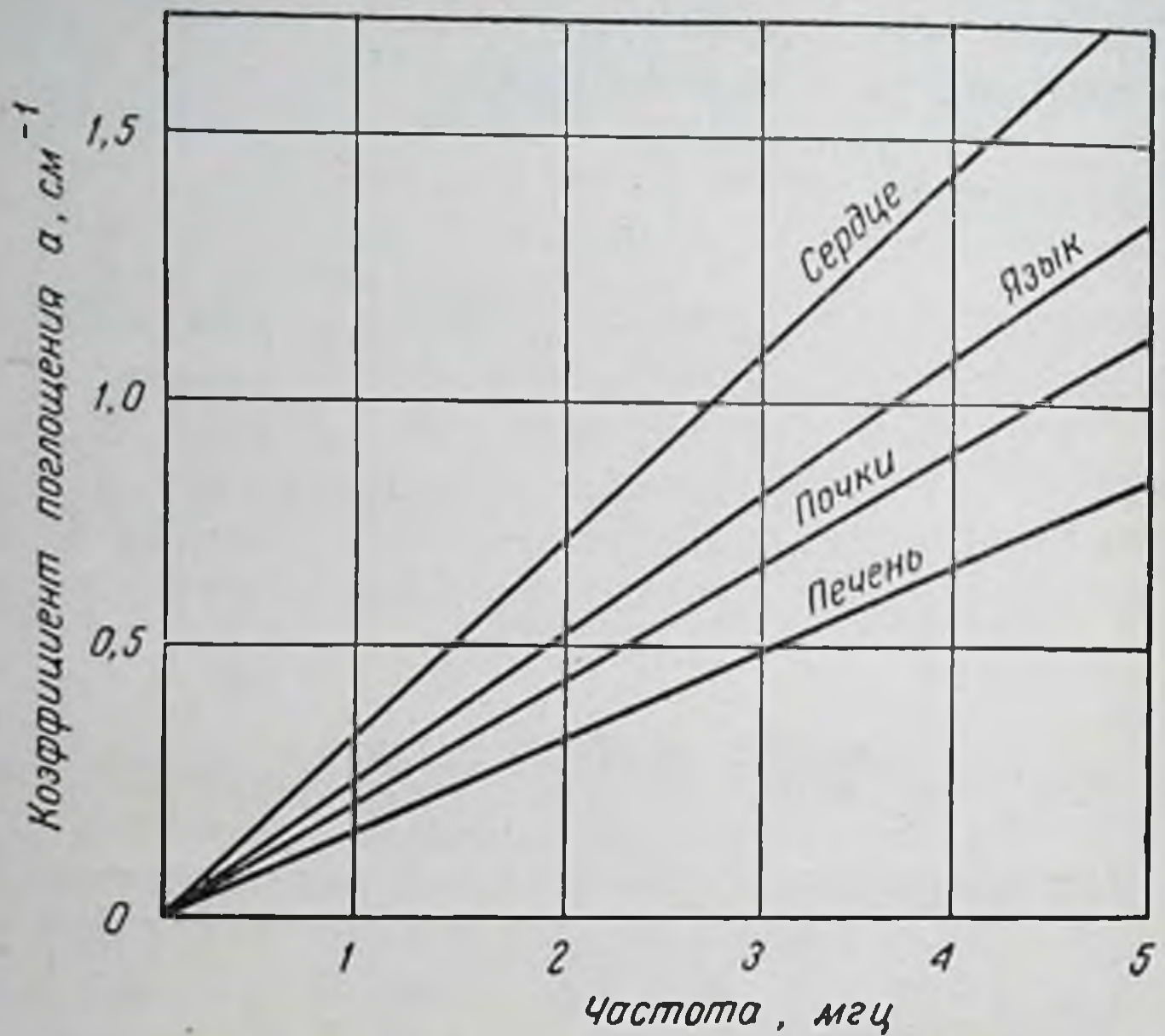


Рис. 2. Зависимость поглощения ультразвука в тканях животных от его частоты.

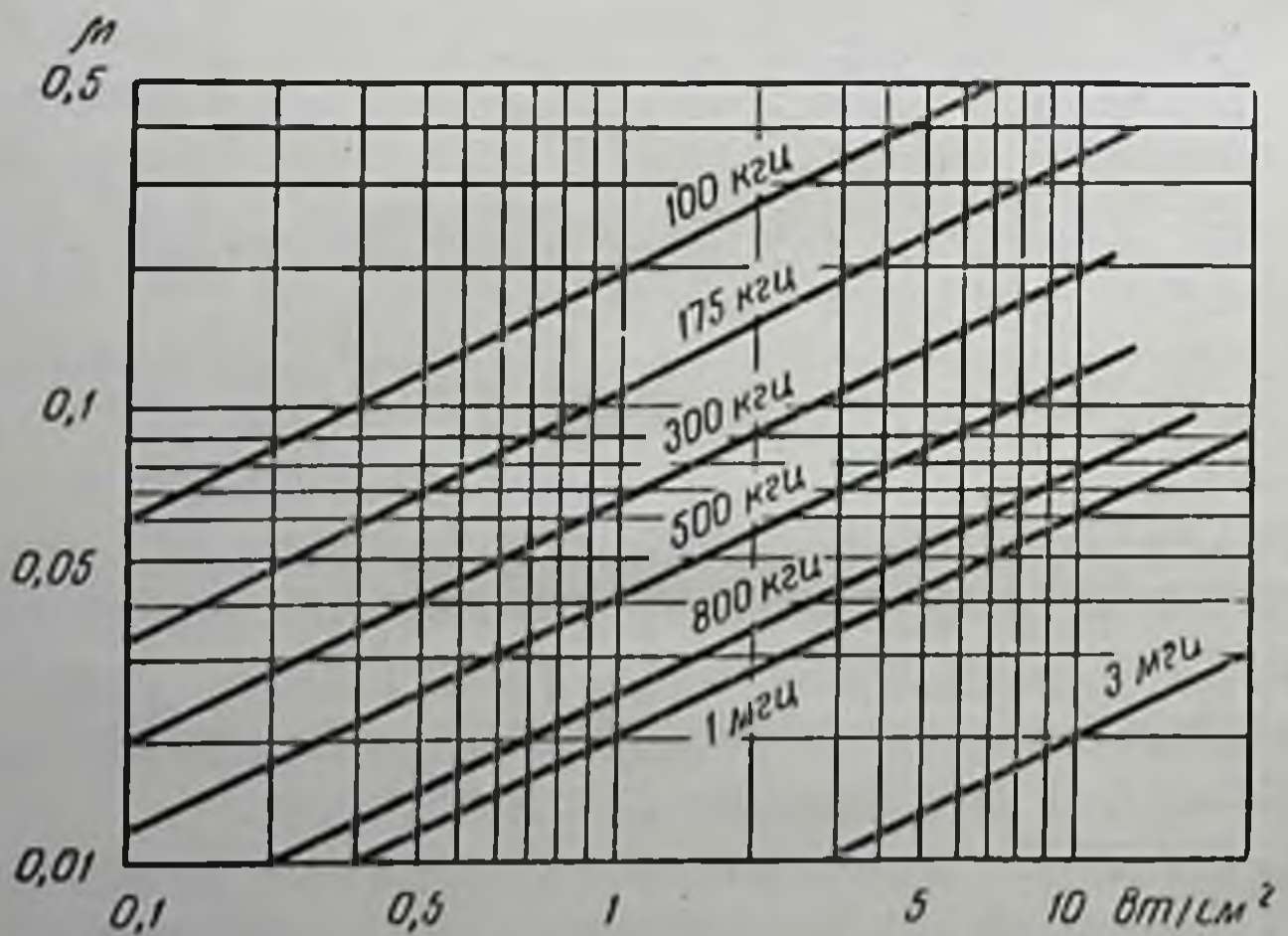


Рис. 3. Зависимость максимального смещения клеток от частоты к интенсивности ультразвука (по Thiede, 1950).

На абсциссе — интенсивность ультразвука в вт/см^2 , на ординате — амплитуды колебаний клеток в μ .

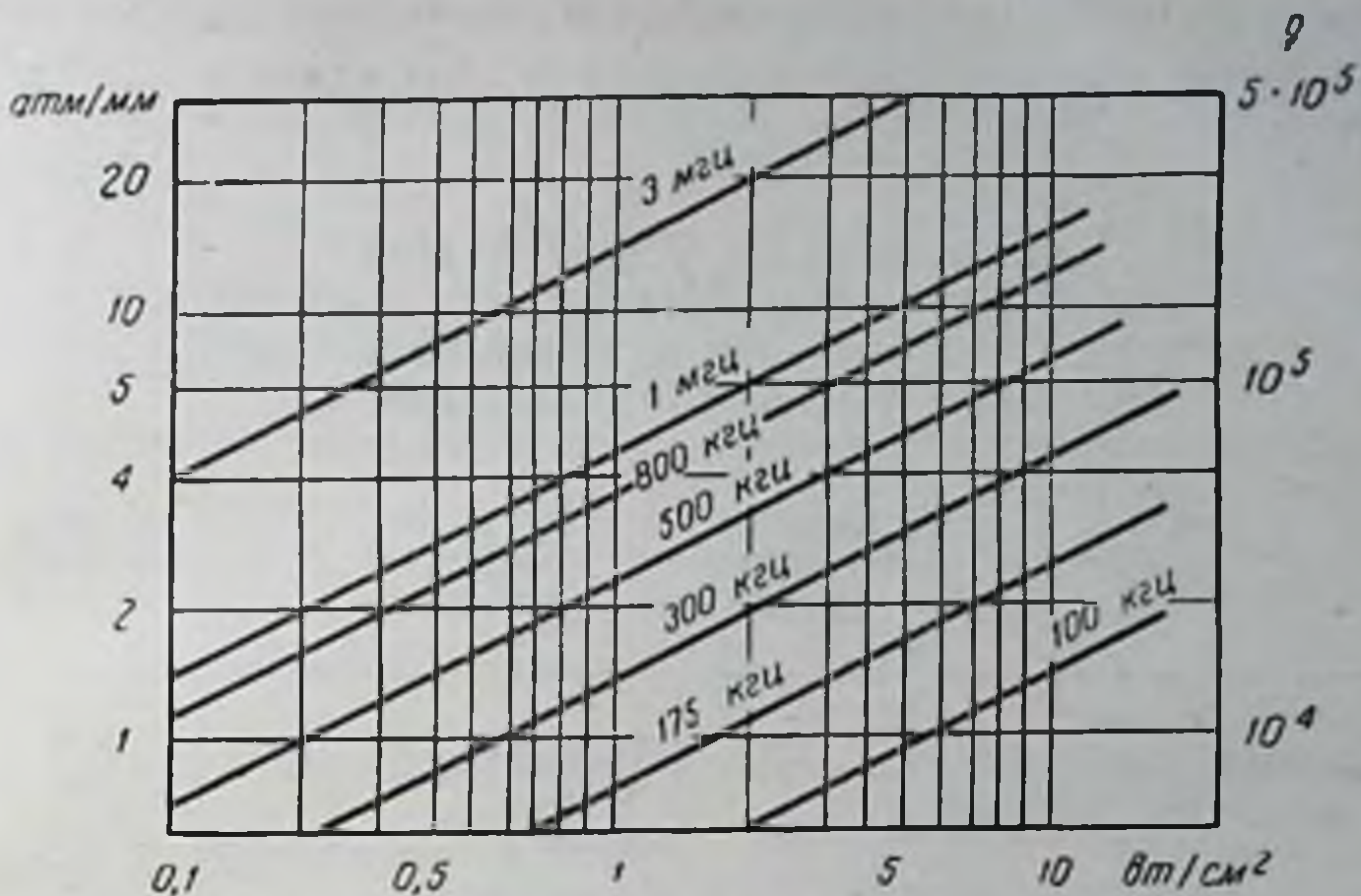


Рис. 4. Зависимость величины перепада давления и ускорения частиц тканей от частоты и интенсивности ультразвука (по Thiede, 1950).

На абсциссе — интенсивность ультразвука в вт/см^2 , на ординате слева — величина перепада давления в атм/мм , справа — величина ускорения в г .

следует, что величина смещения клеток сравнительно невелика. Однако если помнить о большой частоте изменения направления смещения (сотни тысяч — миллионы раз в секунду) и иметь в виду большие разности давления и особенно чрезвычайно большие ускорения, возникающие при этом (рис. 4), то можно ясно представить, какое сильное механическое влияние оказывают ультразвуковые колебания на ткани.

В результате вибрации возможны молекулярные и физико-химические перестройки в цитоплазме и ядерных структурах клеток (Hercik, Hrdlicka, Sprindrich, 1942; Эльпинер, 1956).

При очень больших интенсивностях ультразвука (свыше 4 вт/см^2 по Wöbbecke, 1950) механическое действие может вызвать нарушение целостности клеток и вторичные изменения физико-химических свойств тканей (Pohlman, 1951). В жидких средах, как мы уже говорили, при этом возникает кавитация.

Наряду с механическими силами, порождаемыми переменным акустическим давлением, в механизме биологического действия ультразвуковых волн высокой частоты большой удельный вес имеет тепловой фактор.

Причиной образования тепла в озвучиваемом материале является поглощение энергии ультразвука (табл. 5).

Таблица 5

ПОВЫШЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ
ОРГАНИЧЕСКИХ И БИОЛОГИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ
ПРИ ИХ ОЗВУЧИВАНИИ В ТЕЧЕНИЕ 30 СЕКУНД
(по DAGNON, BIANCANI, 1937)

Вещество	Повыше- ние темпе- ратуры	Вещество	Повыше- ние темпе- ратуры
Яичный альбумин	2°	Жировая ткань	25°
Свернутый яичный белок	2°	Печень	9°
Яичный желток	11°	Мозговое вещество	9,5°
		Парафин	9°

Как видно из табл. 5, степень нагревания различных веществ и тканей колеблется в широких пределах. Это указывает на возможность селективного (избирательно-го) нагрева, что нашло широкое применение в лечебной практике.

Rohlman, Ra Gow и Schlungbaum (1948) исследовали распределение температур на различной глубине в живом организме при его озвучивании ультразвуком. В ягодичную мышцу на разную глубину вводили термоиглу; эту область в течение 20 секунд облучали ультразвуком при частоте 800 кгц и интенсивности 4 вт/см² на площади диаметром 2 см². После выключения ультразвука через каждые 10 секунд измеряли температуру в озвученной области. Результаты этих измерений показаны на рис. 5. Видно, что после озвучивания в течение 20 секунд на глубине 0,2—0,3 см температура повышается на 5,7°. После выключения ультразвука температура начинает падать за счет теплопроводности тканей и кровообращения. Можно рассчитать, что 79—82% тепла отводится кровью, а остальные 21—18% теряются за счет теплопроводности тканей. Степень нагрева с глубиной уменьшается. В некоторых случаях при этих измерениях непосредственно у поверхности кожи наблюдалось дальнейшее повышение температуры после выключения генератора ультразвука (это обозначено пунктир-

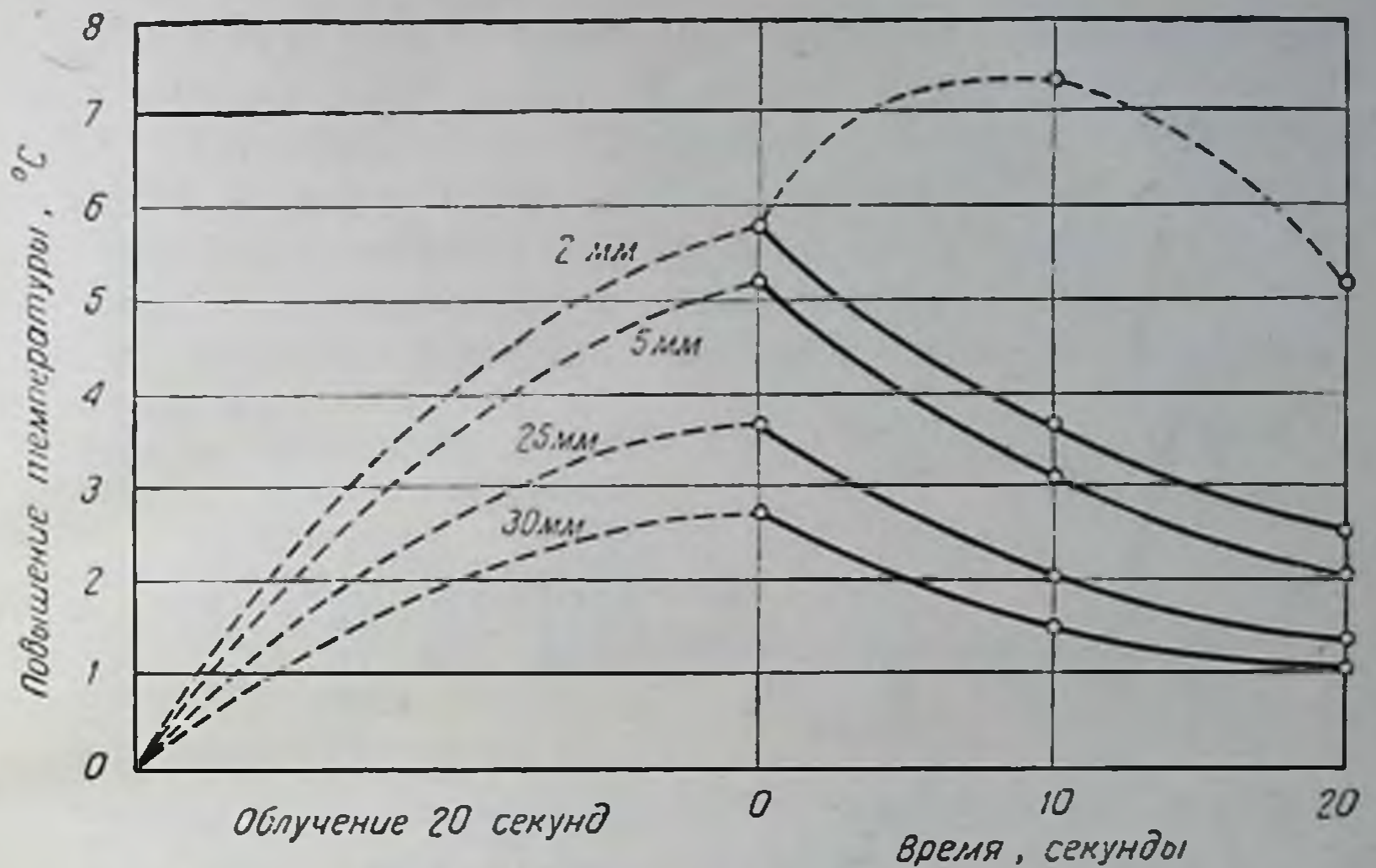


Рис. 5. Нагревание, вызываемое ультразвуком в ткани живого организма на различной глубине. Объяснение в тексте.

ной кривой в правой части рис. 5), что необходимо рассматривать как ответную реакцию организма на процесс озвучивания.

Повышение температуры среды особенно выражено, когда среда неоднородна. Наличие в озвучиваемой области близко к поверхности отражающих слоев (кости, фасции и т. п.) обуславливает больший диапазон температурных колебаний и своеобразное перераспределение тепловой энергии. Как и звуковые волны слышимого диапазона, ультразвуковые колебания при отражении на границе двух сред с разными акустическими сопротивлениями образуют стоячие волны, в пучностях которых выделяются особенно большие количества тепла. Это тепло может быть настолько велико, что вызовет местные перегревы ткани (Schmitz, 1949). Следствием таких местных перегревов являются, например, периостальные боли.

Кроме того, локальные пики температуры возникают в пульсирующих кавитационных пузырьках. Температура в этих микроочагах повышается весьма значительно (до сотен градусов) и, по представлению Griffing (1950), способствует возникновению химических процессов.

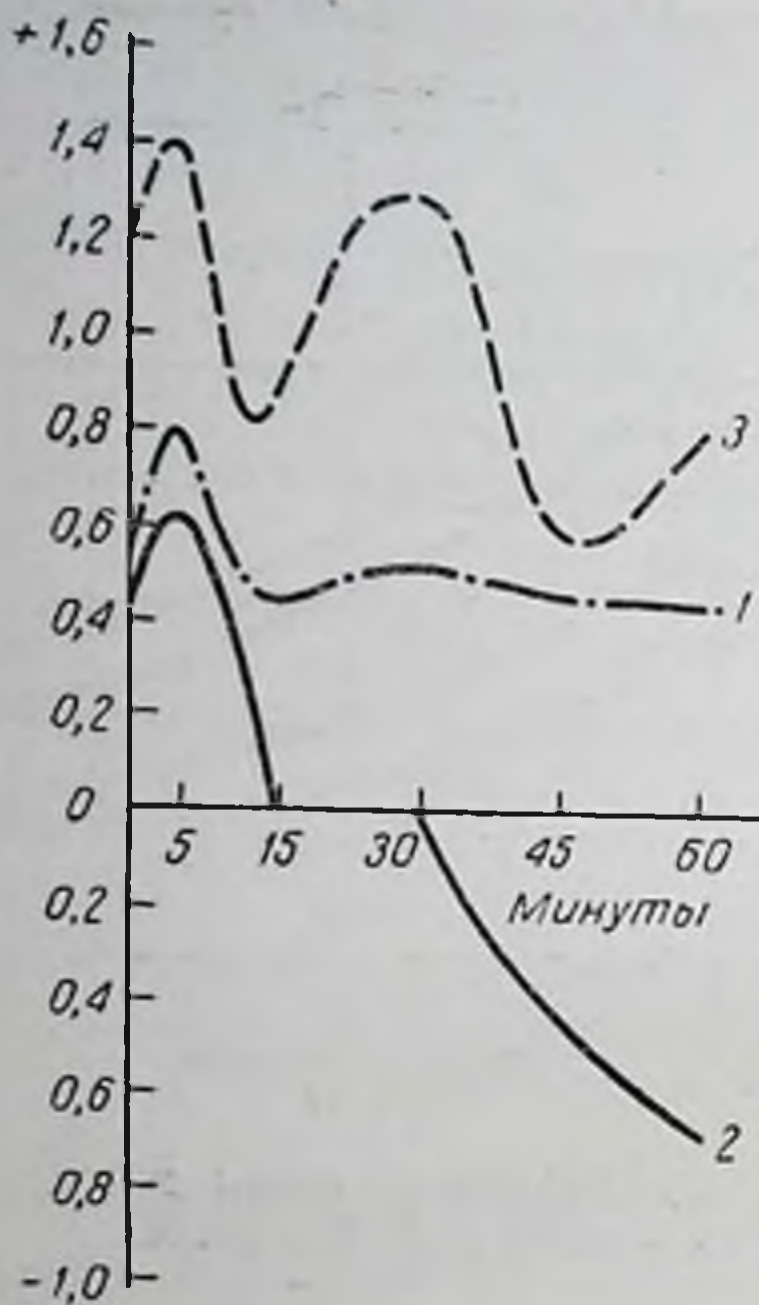


Рис. 6. Изменение кожной температуры после воздействия ультразвуком в 800 кгц, $0,75 \text{ вт/см}^2$, 5 минут на область тройничного нерва (по Н. В. Пенек, 1962).

1 — в участке облучения (место выхода I ветви тройничного нерва) справа; 2 — в симметричной точке слева; 3 — в области выхода II ветви тройничного нерва справа.

На абсциссе — время после облучения в минутах, на ординате — разность температур по сравнению с исходной.

Весьма интересен факт дополнительных подъемов температуры кожи на 15—30-й минуте после выключения ультразвука (рис. 6). Эти подъемы свидетельствуют о наличии последствия ультразвукового облучения (Н. В. Пенек, 1962). Интересен также факт температурных изменений в коже нижних конечностей после облучения ультразвуком паравертебральных зон. Эти изменения, как и дополнительные подъемы температуры кожи в области воздействия ультразвуковых волн, нельзя объяснить только переходом механической энергии ультразвуковых колебаний в тепловую энергию. Наиболее вероятно, что они связаны с рефлекторными изменениями сосудистых и обменных процессов в этих областях.

Из всех рассмотренных явлений физического и физико-химического действия ультразвука при облучении биологических объектов могут иметь место явления кавитации, термический эффект, влияние активных радикалов, электрохимическое действие. В биологическом эффекте, по мнению Badtke (1949), А. Н. Бурова и Г. Д. Андриевской и др. (1956), Н. А. Белой и др. (1959),

Э. Д. Геллера (1961) и др., определенное значение имеет механическое действие. В этом плане А. Н. Ононов (1957) отмечает роль феномена разрыва клеточных структур. Ангегег и др. (1951) указывают на большое значение при эффекте разрыва клеточных структур резонанса ультразвука с собственными колебаниями клеток, частота которых может быть в диапазоне 100—600 кгц.

5. НЕКОТОРЫЕ ПРОЯВЛЕНИЯ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА

Реакция живого организма на действие ультразвука многогранна. Здесь можно наблюдать угнетающее и стимулирующее, поражающее и терапевтическое действия. Поражающее действие ультразвуковых волн (широкого диапазона частот) проявляется при их высокой интенсивности и выражается в гибели животных и растительных клеток, микро- и макроорганизмов. В зависимости от действующей силы ультразвука удается наблюдать или мгновенные разрывы клеток и клеточных структур, значительные поражения внутриклеточных образований или быстро проходящие обратимые сдвиги в физиологическом и физическом состоянии клетки. Многообразие наблюдаемых реакций живой клетки и организма связано не только с интенсивностью ультразвука, но и с функциональными, онто- и филогенетическими особенностями живого объекта.

В представлениях о механизме биологического действия ультразвуковых волн значительное место отводится возникновению так называемых элементарных процессов (физических и химических), протекающих в местах непосредственного подведения ультраакустической энергии, т. е., иначе говоря, представлениям о прямом действии ультразвука. Большое значение здесь приобретают электрические, механические и тепловые факторы действия ультразвуковых волн. С этих позиций объясняются такие явления, как тиксотропный эффект белковых растворов и клеточной протоплазмы, изменения свойств полупроницаемых оболочек, усиление раствори-

мости и диффузные процессы в вязких растворах (М. Н. Коновалов, И. Е. Эльпинер, 1959).

Широкий диапазон действия ультразвуковых волн на живые биологические структуры объясняет и разнообразие ответных реакций живого организма. Ультразвук глубоко проникает в организм, причем распространяется в нем прямолинейно. На пути своего прохождения ультразвуковые волны вызывают изменение функции почти всех встречающихся тканей и органов. Однако, как отмечают некоторые исследователи, наряду с поврежденными клетками в одном и том же участке ткани можно наблюдать непораженные клетки. Это явление объясняют различной резистентностью к действию данного физического агента. Чрезвычайно сложна реакция на ультразвук со стороны целостного организма.

При воздействии малых доз можно наблюдать стимулирующий эффект. По-видимому, и в этом случае имеют значение те же три основных фактора: механический, выражающийся в микромассаже тканевых элементов, тепловой и физико-химический, проявляющийся в ускорении обмена веществ в тканях. Так, Rohlman (1951), Ф. А. Гуревич, А. И. Дронин, И. М. Бархатова (1960) и др. рассматривают действие малых доз ультразвука как действие физического катализатора, который ускоряет процессы, обычно протекающие медленно. Veier и Dögner (1954) допускают к тому же, что благодаря периодическим колебаниям акустического давления при определенных условиях возможно размягчение клеточных мембран, что также может быть причиной ускорения диффузионных процессов.

В настоящее время доказано, что воздействие ультразвука отражается на интенсивности интимных внутриклеточных процессов, связанных с биосинтезом белковых комплексов. Исследованиями А. П. Сперанского и И. Л. Марцвеладзе (1963) установлено, что под влиянием ультразвуковых волн в ядрах клеток повышается содержание тимонуклеиновой кислоты, являющейся стимулятором развития и роста клеточных форм.

Специфический стимулирующий эффект малых доз ультразвука обуславливается небольшой интенсивностью воздействия (Г. Д. Давыдов, 1940; М. К. Смирнов, 1958; Allard, Ots, 1952). Малая выраженность механического, теплового и химического факторов недостаточна

для проявления альтерирующего действия на ткани организма, их влияние ограничивается, по-видимому, лишь раздражением нервных рецепторов. В ответ на это рефлекторно изменяется функциональное состояние высших отделов нервной системы. При наличии на электроэнцефалограмме депрессии α -ритма или асимметрии биоэлектрической активности полушарий под влиянием малых доз ультразвука наблюдается улучшение выраженности α -ритма и сглаживание асимметрий (В. С. Воздвиженская, 1957). Изменение функционального состояния центральной нервной системы отражается на состоянии всего организма. Большое значение при этом имеют, по-видимому, сосудистые реакции (снижение сосудистого тонуса и расширение сосудов), наблюдаемые как в области, подвергающейся воздействию ультразвуковых колебаний, так и на отдалении от нее (Wöbbescke, 1950; Чжоу Сяень-хуа, 1957; Н. В. Пенек, 1959).

При воздействии больших доз ультразвука наблюдается поражающий эффект, механизм которого еще до конца не раскрыт, хотя за 46 лет, прошедших со времени неожиданной гибели рыбок, выпущенных в бассейн, где известный французский физик Ланжевен проводил свои опыты с ультразвуком, было сделано много исследований.

Первыми обратились к этой теме Wood и Loomis (1927). Они исследовали действие ультразвуковых колебаний на различные живые организмы и установили, что рыбы, лягушки и головастики погибают уже после 1—2-минутного воздействия ультразвука, в то время как мыши выживали даже после 20-минутного облучения. Согласно описанию, приведенному в их работе, в начале воздействия ультразвука у рыб, подвергаемых облучению, развивается сильное беспокойство. Они мечутся из стороны в сторону, всплывают на поверхность воды, высовывают головы и жадно глотают воздух. Затем, часто уже через 1 минуту, наступает адинамия: рыбы становятся вялыми, малоподвижными, появляются симптомы нарушения равновесия. Рыбы лежат на боку, дыхание их становится слабым и неравномерным. Иногда это состояние снова сменяется приступами возбуждения с учащением дыхания и сердечной деятельности, но чаще всего преобладает наркотическая фаза. Увеличение дозы вызывает гибель животных.

При очень больших интенсивностях облучения на плавниках, у ротового отверстия и на других участках тела рыб возникают разрывы кожи и сосудов, сопровождающиеся кровотечениями. Повреждения поверхностного эпителия и кровотечения наблюдаются и на жабрах. Обращая внимание на эти повреждения, авторы, однако, не склонны считать их непосредственной причиной гибели животных в ультразвуковом поле. Они предполагают, что последняя обуславливается сильным внутренним нагреванием и действием ультразвуковых колебаний на нервную систему. Правда, экспериментальными данными авторы подтвердить свое предположение не смогли: ни кровоизлияний, ни каких-либо других повреждений центральной нервной системы у погибших животных обнаружить не удалось.

Доказательством действия ультразвука на нервную систему явились последующие работы Wiercinski и Child (1936), установивших, что при действии ультразвука сначала наблюдаются явления возбуждения и только после этого — явления угнетения, а также работы Капачева и Shipogawa (1938), наблюдавших при воздействии малых доз ультразвука стимуляцию жизненных процессов.

Wolf (1947) исследовал на небольших водных животных зависимость между длительностью облучения и интенсивностью летальных доз ультразвука. Применялся ультразвук частотой 800 кгц. Для каждого вида исследуемых объектов была получена своя кривая смертности, что свидетельствует о различной видовой чувствительности к этому физическому фактору. К сожалению, этот крайне интересный факт до сих пор остается неиспользованным при выяснении механизма биологического действия ультразвука.

На рис. 7 приведены кривые выживаемости, выведенные Wolf на основании опытов на головастиках. Как видно из рисунка, здесь неприменим закон обратной пропорциональной зависимости: интенсивность \times время = const. Так, при интенсивности 1,8 вт/см² гибель 100% животных наблюдалась через 100 секунд озвучивания, а при интенсивности 3,13 и 3,65 вт/см² — соответственно через 34 и 10 секунд воздействия ультразвука.

Исследования зависимости летальности и других видов биологического действия ультразвука от частоты

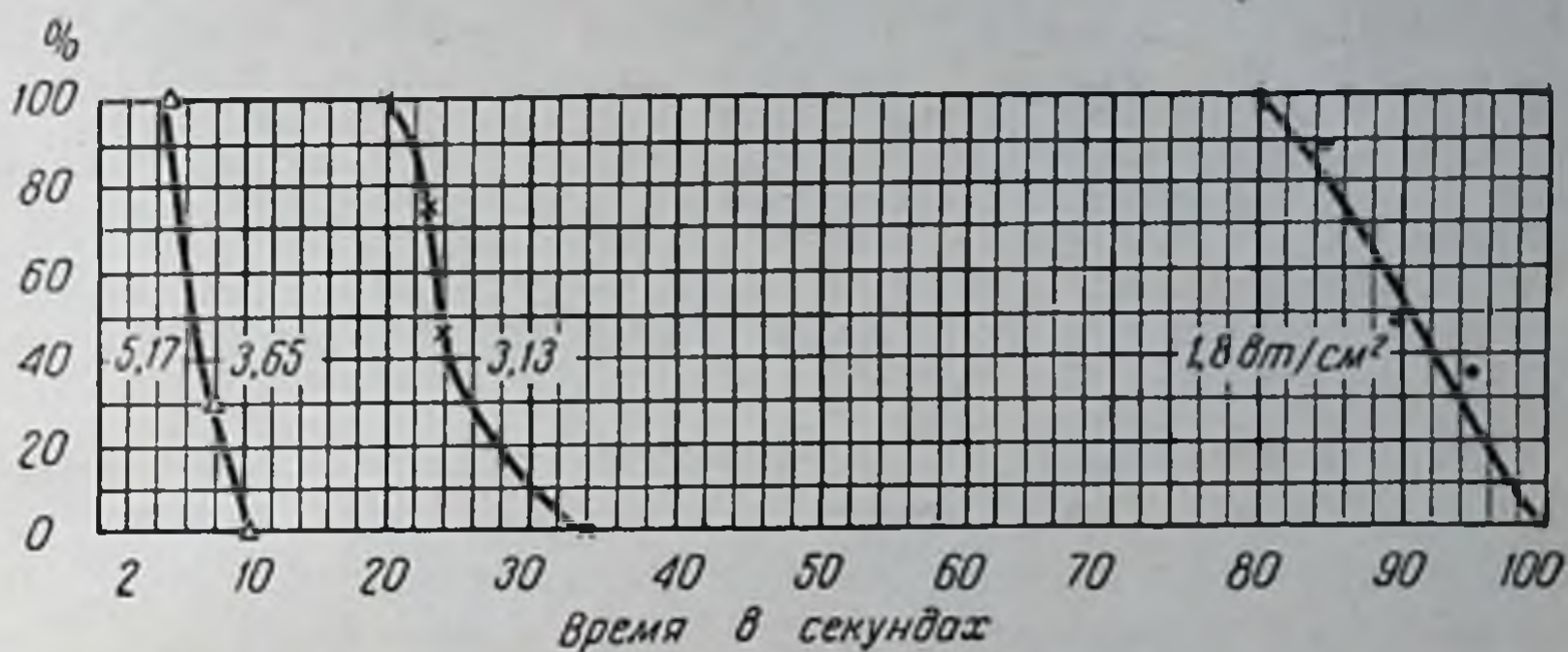


Рис. 7. Кривые выживаемости (в %) головастиков, подвергнутых воздействию ультразвуком.

колебаний проведены Zeilhofer (1951) и Lehman (1951). Они установили, что с повышением частоты ультразвука соответственно повышается его биологическое действие.

Ряд работ посвящен действию ультразвуковых волн на различные органы и ткани. Особое внимание было уделено коже, которая для ультразвуков высокочастотного диапазона является «входными воротами». Чжоу Сянь-хуа (1957) показал в эксперименте, что воздействие ультразвуковых колебаний частотой 800 кгц при интенсивностях 0,17 и особенно 0,5 Вт/см² значительно повышает проницаемость кожи для J¹³¹. Lehman, Becker и Jaenicke (1950) наблюдали усиление прохождения ионов хлора через кожу лягушки при ее облучении высокочастотным ультразвуком.

Holland и Schultes (1936) описали повышенную восприимчивость облученной кожи к гистамину. Уже при интенсивности ультразвука 3 Вт/см² наряду с функциональными сдвигами появляются, как установил Nödl (1949), и морфологические изменения. В частности, происходит свертывание содержимого в волосяных мешочках и железах с последующим гиалиновым перерождением. При воздействии больших интенсивностей (свыше 4 Вт/см²) в коже развиваются гиперемия, а затем некротические изменения в эпидермисе и самой коже. Первоначально изменения появляются обычно в клеточном ядре и заключаются в изменении его формы, неравномерном распределении содержимого с исходом в пикноз.

Затем изменению подвергается и цитоплазма, исчезает структурность клетки, нарушается целостность клеточной мембраны (Veier и Dögner, 1954).

Во многих работах отмечается, что в разных областях тела чувствительность кожи к ультразвуку различна. Кожа лица человека чувствительнее, чем кожа живота. Последняя в свою очередь чувствительнее кожи конечностей.

Менее выраженные изменения наблюдаются в мышечной ткани. При малых и средних интенсивностях ультразвука в гистологической картине мышц вообще не отмечается каких-либо изменений, обусловленных воздействием ультразвуковых колебаний. При больших интенсивностях мышечные волокна набухают, в них образуются вакуоли, имеется пикноз ядер. В некоторых случаях ядра растягиваются вдвое против первоначальных размеров, приобретая иногда веретенообразную форму (Nödle, 1949). Аналогичные изменения наблюдал Peters (1949). Окрашивая облученные мышцы эозином, он обратил внимание на то, что в отличие от нормальной мышечной ткани они очень по-разному воспринимают краску. Одни мышцы окрашивались чрезвычайно интенсивно, другие — слабо, третьи вообще не окрашивались, у них отсутствовала исчерченность и их трудно было различить в окружающей ткани. Он связал это с различной степенью прогрессирования некроза в поперечно-полосатой мускулатуре.

Некроз и распад мышечных волокон сопровождаются пролиферативными явлениями со стороны мезенхимальных элементов стенок кровеносных сосудов, на которые ультразвуковые колебания оказывают селективное раздражающее действие (Veier, Dögner, 1954). В результате на месте распада мышечной ткани образуется соединительнотканый рубец. С другой стороны, применение менее интенсивного ультразвукового воздействия (ультразвуковой массаж) в случаях заболеваний, связанных с образованием рубцов, спаек, анкилозов и деформаций, оказывает разволакивающее действие на соединительную ткань и способствует восстановлению эластичности кожи и подвижности суставов.

В отличие от изменений мягких тканей, которые, как правило, возникают в момент воздействия ультразвуковых колебаний или непосредственно вслед за воздейст-

вием ультразвука, для ультразвуковых поражений костей характерно длительное развитие. Изменения костной ткани становятся заметными через 1—2 недели после облучения животного ультразвуком. Прежде всего они проявляются в утолщении надкостницы, затем в местах, подвергшихся облучению, развивается остеопороз (разрежение костной ткани) и возникают самопроизвольные переломы. Впервые самопроизвольные переломы кости молодой собаки после облучения ее ультразвуком описал Vuchtala (1948). Опыты с применением ультразвука больших интенсивностей проводил Мајпо (1948). Он облучал конечности кролика ультразвуком частотой 960 кгц при интенсивности 6 вт/см² в течение 30—210 минут и наблюдал возникновение отеков мягких тканей, образование язв, отделение надкостницы от кости и субэндостальные кровоизлияния. В дальнейшем происходила некротизация кости. Автор обратил внимание на то, что, несмотря на такую большую дозу ультразвука, суставные хрящи и эпифизарные пластинки роста остались совершенно невредимыми. Он объясняет это тем, что хрящевая ткань содержит значительно больше воды, чем костная, и потому более эластична.

Наблюдается разрушительное действие ультразвука на форменные элементы крови. А. Н. Онанов (1957) отмечает, что озвучивание цельной стабилизированной крови людей ультразвуковыми волнами частотой 500 кгц при интенсивности 6 вт/см² уже через 5—10 минут вызывает лейкоцитоллиз; в особенности страдают моноциты и нейтрофилы. При этом автор указывает, что это не является в полном смысле лизисом, так как под влиянием ультразвуковых колебаний происходит не растворение белых кровяных телец, а фрагментация их на микрошизоциты. На 10-й минуте озвучивания разрушительное действие ультразвука распространяется на тромбоциты и эритроциты. В то же время в работах Segny, Liechti и Willbgaunt (1942), Yung (1942) и др. было показано, что вызываемый ультразвуком гемолиз не связан с осмотическими явлениями, а представляет результат механического действия ультраакустического фактора. А Grabaг и Ргudhotте (1946) установили, что при отсутствии в жидкой среде газов разрушения форменных элементов не происходит, т. е. они доказали, что причиной разрушения форменных элементов крови является кавитация.

Очень чувствительны к ультразвуку внутренние органы. После 3-минутного непосредственного облучения высокочастотным ультразвуком селезенки Коерреп (1949) наблюдал выраженную гиперемию селезеночной ткани. При более длительном облучении отмечалось разрыхление капсулы. Увеличение экспозиции до 10—15 минут вызывало отмирание клеток в слоях ткани под капсулой, а также в краевой зоне облучаемой области.

Выраженные морфологические изменения вызывает ультразвук в печени. Облученный участок приобретает сине-красную окраску, происходит разрыхление капсулы и вакуолизация печеночной ткани, особенно выраженная на противоположной стороне органа. При больших интенсивностях ультразвука (5—6 вт/см²) наблюдаются обширные кровоизлияния, развивается интенсивный воспалительный процесс и очаговый некроз типа инфаркта. Разрушение паренхиматозной ткани иногда захватывает до половины облученного пространства (Veier и Dögger, 1954).

Действие же ультразвука на почки сопровождается главным образом функциональными нарушениями. Подробное исследование влияния ультразвуковых колебаний на деятельность почек провели Klupp, Wyslonzil и Watschinger (1952). В качестве индикатора была взята тиосульфатная проба. При одностороннем облучении почек значение Thiоsulfat clearance мало отклоняется от нормы. Авторы считают, что это происходит за счет того, что другая почка компенсирует небольшой дефицит выделительной функции, вызванный понижением функциональной способности почки, облученной ультразвуком. Двустороннее облучение почек ультразвуком частотой 2000 кгц при интенсивности 3,5 вт/см² и продолжительности воздействия 5—7 минут вызвало понижение клиренса тиосульфата в среднем до 0,33 см³/мин (в норме среднее значение клубочковой фильтрации равно 0,58 см³/мин). Снижение выделительной функции наблюдалось и в последующие дни после озвучивания и только спустя 15 дней значение клиренса тиосульфата нормализовалось. При повышении интенсивности ультразвуковых колебаний до 5 вт/см² выделительная функция резко нарушалась, содержание азота в крови возрастало до 160 мг%, в моче появлялись белок (до 8% по

Эсбаху) и кровь; развивалась тяжелая уремия, в ряде случаев приведшая к гибели животных. Большие дозы ультразвука вызывали появление и морфологических повреждений. В первую очередь страдали извитые канальцы первого порядка, затем восходящие колена петель Генле, извитые канальцы второго порядка и, наконец, нисходящие колена петель Генле. Собираательные трубочки мозгового слоя и соединительнотканые основные оболочки мочевых канальцев оказались более резистентными к ультразвуковым колебаниям, чем нефроны.

Gloggenzießer (1952), кроме того, наблюдал расширение и эктазию кровеносных сосудов почки, кровоизлияния в коре и мозговом слое и выраженные дегенеративные изменения эпителиальных клеток мочевых канальцев.

Преимущественно функциональные сдвиги отмечаются и при воздействии ультразвуковых волн (частота 800 кгц) на сердце. Harvey (1930), а также Förster и Holste (1937), воздействуя ультразвуком на сердце пойклотермных животных, отметили учащение сердечного ритма с уменьшением амплитуды сердечных сокращений и изменением биотоков сердца. Аналогичные изменения в деятельности сердца лягушки при воздействии ультразвуковых колебаний частотой 800—1000 кгц наблюдали М. И. Гуревич и Л. П. Черкасский (1958), причем они заметили, что влияние ультразвуковых волн той же интенсивности на изолированное сердце заметно слабее. Монофазную деформацию электрокардиограммы лягушки под влиянием ультразвуковых колебаний описал Keidel (1950). Dönhardt и Presch (1950) облучали ультразвуком интенсивностью от 2 до 6 вт/см² морских свинок, а Gloggenzießer (1950)—кроликов. Они установили нарушения деятельности сердца подопытных животных и отметили незначительные морфологические изменения сердечной мышцы. Gloggenzießer, кроме того, применил чрезмерно большие дозы ультразвука (10, 12, 15 и 20 вт/см²) и наблюдал развитие выраженной гиперемии, возникновение кровоизлияний и диффузного жирового перерождения мышечных волокон. Наиболее высокие дозы вызывали очаговые некрозы миокарда.

Уникальный опыт на 17 врачах-добровольцах описал Klage и Wyt (1951). У исследуемых облучали области сердца, верхнего грудного симпатического ганглия и

область разветвления левой сонной артерии. Облучение производилось ультразвуком частотой 800 кгц при интенсивности 2,5 вт/см² и экспозиции 6 минут. При направлении ультразвукового луча непосредственно на область сердца 8 человек ощущали парестезию в левой руке, 4 — боли в той же руке и 3 — явления стенокардии. Только у одного исследуемого не было никаких неприятных ощущений. Однако клинико-физиологическое обследование показало, что существенных изменений в деятельности сердца при этом не происходит. Артериальное давление у всех обследуемых осталось неизменным. У 5 человек отмечалось учащение пульса на 10—15 ударов в минуту, но у остальных частота сердечных сокращений также существенно не изменялась. На электрокардиограмме у 11 человек из 14 имелись изменения зубца Т, но они были неоднотипными: в 5 случаях отмечалось увеличение зубца, в других 5 случаях — уменьшение и на одной электрокардиограмме он стал отрицательным. Примерно такие же результаты дали опыты с облучением областей звездчатого ганглия и каротидного синуса. По мнению авторов, характер изменений в очень большой степени зависел от исходного функционального состояния вегетативной нервной системы исследуемых.

При обследовании рабочих, занятых обслуживанием ультразвуковых установок на производстве и подвергающихся при этом воздействию низкочастотного (22—30 кгц) ультразвука, отмечено наличие у них брадикардии (З. С. Лисичкина, 1961; А. Г. Генкин, 1963, и др.). Заметные изменения под влиянием ультразвукового облучения претерпевали электрокардиограммы. Наблюдалась также лабильность артериального давления с наклоном к гипотонии (З. С. Лисичкина, 1961, и др.).

Многие исследователи считают, что вообще в изменениях, наблюдающихся в организме при облучении ультразвуковыми волнами, решающую роль играет центральная нервная система (Е. Н. Верещагина, 1960, и др.). Это мнение подтверждается тем обстоятельством, что, во-первых, нервная ткань чрезвычайно чувствительна к ультразвуку, гораздо чувствительнее, чем любая другая ткань. Особенно чувствительны нервные клетки. Как показал Окутига Takashi (1960), при воздействии

на спинной мозг ультразвуком частотой 1 мгц при интенсивности $0,75 \text{ вт/см}^2$ для появления функциональных и начальных морфологических изменений в нервных клетках достаточно 9—11 минут облучения, в то время как для возникновения таких же изменений в нервных волокнах требуется 21—24 минуты. При этом среди нейронов имеются клетки с еще более высокой чувствительностью, как, например, большие мотонейроны передних рогов спинного мозга.

Во-вторых, установлено, что изменение функционального состояния нервной системы изменяет характер реакции тканей на воздействие ультразвуковых колебаний. Если при помощи кураре сделать мышцы невозбудимыми или облучать наркотизированных животных, то ультразвук, который при обычных условиях разрушает мышечную ткань, не оказывает на нее альтерирующего действия.

И, наконец, известны случаи успешной терапии, основанной не на непосредственном действии ультразвука на очаг болезни, когда облучалась область, далеко отстоящая от локализации болезненного очага.

Одним из первых к изучению влияния ультразвука на нервную ткань обратился выдающийся советский хирург Н. Н. Бурденко (1944). Его внимание привлекло то, что картина поражения при облучении головного мозга животного ультразвуком очень сходна с состоянием при сотрясении мозга. И он обратился к эксперименту. Н. Н. Бурденко проводил опыты как на пойкилотермных (лягушка), так и на гомойотермных (мыши, кролики) животных. Воздействуя ультразвуковыми колебаниями частотой 460 кгц большой интенсивности на головной мозг животных, Н. Н. Бурденко наблюдал развитие типичной картины шока: начальное возбуждение сменялось резким торможением с падением артериального кровяного давления до критических цифр, отмечалось прогрессирующее ослабление сердечной деятельности. Продолжительное воздействие вызывало гибель животного вследствие паралича дыхательного центра.

Исследования Н. Н. Бурденко были продолжены после его смерти Л. И. Смирновым (1947). Проведя гистологическое изучение головного мозга животных, погибших в результате воздействия больших доз ультразвука, он обнаружил внутримозговые субарахноидаль-

ные, а иногда внутрижелудочковые точечные кровоизлияния. Закономерно обнаруживались также миллиарные очажки некроза и характерные изменения в стыках нервных клеток (асинация).

Действие ультразвука больших интенсивностей на головной мозг было изучено также в опытах на собаках, кошках и обезьянах Лупп и Putnam (1944). Для усиления интенсивности ультразвуковых колебаний они использовали предложенный Грютцмахером кварц, отшлифованный в форме вогнутого зеркала. При этом в больших полушариях головного мозга подопытных животных возникали клинообразные очаги размягчения, которые располагались так, что основание клина лежало в коре головного мозга, а вершина вдавалась в подкорковый слой. Ультразвуковые волны поражали главным образом нейроны. Нейроглия же реагировала увеличением величины и количества клеточных элементов. Она образовывала синплазматические структуры, окружая размягченные нервные клетки толстым нейроглическим валом.

Несколько позднее аналогичные очаги поражения в мозгу получили Peters (1949) и Leonhardt (1949), облучавшие головной мозг ультразвуком частотой 1,2 мгц при интенсивности 2—6 вт/см² и экспозиции от 2 до 15 секунд. Peters удалось наблюдать не только конечный результат воздействия больших доз ультразвука (размягчение мозговой ткани), но и все степени изменения нейронов: первичные, возникающие непосредственно при облучении, — набухание клеток, растворение хроматофильной субстанции и появление вакуолей и вторичные, развивающиеся спустя некоторое время после озвучивания и выражающиеся в том, что клетки еще более набухают, вакуоли занимают все большую часть клетки, оттесняя ядро и цитоплазму на периферию, субстанция Ниссля местами растворяется, местами спаивается друг с другом.

Как и Н. Н. Бурденко, в дальнейшем все исследователи также сравнивают изменения, вызванные в мозгу ультразвуковыми колебаниями, с изменениями при контузии от удара по черепу тупым орудием. Неуск и Нёркер (1952) связывают клинообразную форму очагов некроза при воздействии ультразвука главным образом с распределением интенсивности ультраакустических ко-

лебаний. Они установили, что клинообразная форма очага поражения характерна лишь для ультразвуковых колебаний, частота которых превышает 1 мгц. Так, облучая головной мозг ультразвуком частотой 175 кгц, эти исследователи не обнаружили никаких патогистологических изменений в мозговой ткани. При частоте колебаний 800 кгц (интенсивность 3 вт/см², экспозиция 6 минут) отмечалась незначительная реакция, почти равномерно распределенная по поверхности больших полушарий. Из этого авторы сделали вывод, что при более низких частотах ультразвуковые волны распространяются в головном мозгу равномерно и без большого декремента. При дальнейшем повышении частоты ультразвуковых колебаний Неуск и Нёркег наблюдали все указанные выше изменения нервной ткани вплоть до клиновидных очагов некроза.

Высокая чувствительность нервной ткани к ультразвуковым колебаниям обусловила применение ультразвука в нейрохирургии. W. Fry, Tucker, F. Fry и Wulff (1951) удалось путем озвучивания области спинного мозга вызвать паралич задних конечностей. Lupp, Zwemer, Chick и Miller (1942), а позднее Wall, Fry, Stephens, Tucker и Lettvin (1951), а также Meyers, F. Fry, W. Fry, Eggleton и Schultz (1960) получили с помощью высокочастотного ультразвука точно локализованные повреждения головного мозга. Возможность воздействия на определенные центры была использована в клинике нервных болезней. При неукротимых болях облучают различные отделы дорсального таламуса, при двигательных расстройствах — медиальную и латеральную *ansa lenticularis*, медиальный сегмент бледного шара, задний отдел черной субстанции, основание вентролатеральных ядер таламуса и другие подкорковые структуры. В некоторых случаях боли и двигательные расстройства исчезают только на время облучения, в других — на несколько месяцев, в третьих — наступает полное выздоровление. «Безножевая хирургия» завоевывает признание как у врачей, так и у экспериментаторов, так как с помощью высокочастотного ультразвука можно разрушать необходимые участки с большой точностью локализации и без нарушения целостности и функций окружающих тканей и кровеносных сосудов.

Воздействие на головной мозг малых доз ультразвука вызывает изменение его функционального состояния.

Buggag (1955) исследовал энцефалограмму у животных, подвергавшихся воздействию ультразвука частотой 25 кГц, и установил замедление ритма и увеличение амплитуды биотоков.

Изменение функционального состояния центральной нервной системы отражается на всем организме. С. С. Киричева, И. Гачева, Д. Хаджиев (1960) наблюдали при этом изменение хроноасимметрических показателей, чувствительности к ультрафиолетовым лучам, электропроводности кожи и артериального давления, а при облучении области шейных симпатических нервных узлов — изменение сосудистого тонуса. Другими авторами отмечалось уменьшение количества сахара в крови и повышение числа лейкоцитов (Tillich, 1952), а также появление в крови и тканях веществ, подобных ацетилхолину, гистамину, адреналину и др. (Holtz и Reichel, 1952; Miller и Weaver, 1954, и др.). Характер этих изменений свидетельствует о повышении возбудимости нервных центров.

Экспериментальные данные Н. Ф. Свядковской (1960) показали, что энергетический обмен головного мозга при воздействии ультразвука изменяется как в коре больших полушарий, так и в подкорковых областях.

При облучении ультразвуком области спинного мозга изменения возбудимости имеются как в нижележащих, так и в более высоко расположенных отделах спинного мозга.

При помощи ультразвука можно не только выключать или стимулировать ту или иную область в центральной нервной системе, но и избирательно блокировать проведение в нервных волокнах. Young и Неппетан (1961) установили, что β - и γ -волокна обладают большей чувствительностью к ультразвуку, чем α -волокна. В связи с этим, варьируя дозы озвучивания, они избирательно блокировали проведение в нервных волокнах малого диаметра. В определенных параметрах применяемого воздействия блок является обратимым (Ariaga, Tsumigaуа, 1959). При больших дозах возникают патогистологические изменения: явления набухания, вакуолизация и распад на фрагменты. Нередко контуры осевых ци-



Рис. 8. Кожа через 3 суток после облучения ультразвуком (1625 кгц, 1 вт/см², 3 минуты). Видны нервные волокна, подвергшиеся набуханию (вздутия) и фрагментации. Микрофото В. К. Воскобойникова. Импрегнация серебром по Бильшовскому — Грос с последующим золочением. Об. 40Хок. 10Х.

линдров при этом приобретают извилистый вид и становятся зазубренными (В. К. Воскобойников, 1960). Характер изменений, возникающих в нервах в результате воздействия ультразвуковых волн, наглядно виден на рис. 8.

Влияние ультразвуковых колебаний на нервные волокна и периферические рецепторы, в частности на свободные нервные окончания, явилось одним из оснований для применения ультразвука при лечении заболеваний периферической нервной системы. И действительно, ультразвуковая терапия оказалась очень успешной при невралгиях, невритах и других заболеваниях периферической нервной системы (Pohlman, 1951).

Таким образом, при изучении биологического действия ультразвука приходится считаться как с возможностью так называемого прямого действия его на те или иные биологические структуры, в том числе через рефлекторные механизмы, так и с возможностью непрямого

действия через посредство первичных физико-химических процессов в виде ионизации воды, т. е. внутренней среды организмов.

Pohlman, Richter и Ra Gow (1939) специально изучали вопрос об аддитивности действия ультразвука. По их мнению, ультразвук в отличие от радиоактивных излучений свойством аддитивности не обладает — результаты повторных озвучиваний не суммируются.

При большом значении такого рода данных о проявлениях биологического действия ультразвука необходимо признать, что их еще недостаточно. В особенности это касается низкочастотного ультразвука, распространяющегося через воздушную среду.

Приведенные выше данные литературы относятся в основном к средне и высокочастотному ультразвуку (частота свыше 100 кгц). В связи с возможным вопросом о правомерности обобщения особенностей действия ультразвука разных частот можно указать на то, что для ультразвуков всех частот характерны следующие описанные выше главные особенности их действия: повышение температуры озвучиваемых сред, возникновение в них кавитации и различных физико-химических изменений. Общность этих главных проявлений воздействия ультразвука на озвучиваемые среды подчеркивает единство механизма их возникновения, что усматривается многими авторами в образовании высокоактивных радикалов типа атомарного водорода и кислорода, ОН-групп, перекисей и т. д. При этом, конечно, необходимо учитывать, что наряду с общностью основных проявлений воздействия ультразвука существуют особенности, зависящие от его силы и частоты, роль которых будет специально обсуждаться в дальнейшем.

МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

1. УЛЬТРАЗВУКИ НИЗКОЙ И ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Выше уже сообщалось, что в литературе накоплен значительный и разнообразный опыт применения высокочастотного ультразвука, действующего преимущественно контактным способом. Более или менее подробно изучено и биологическое действие его. Однако все более широкое применение низкочастотного ультразвука в технике (сверление, шлифование, мойка, очистка, сварка и т. д.), а также расширяющееся использование таких приборов и механизмов, в частности реактивных двигателей, которые являются источниками побочного ультразвука, ставит ряд новых вопросов о биологическом действии ультразвука. Новизна этих вопросов связана с тем, что в этих случаях человек подвергается воздействию ультразвука через воздушную среду при физических параметрах ультразвука, близко примыкающих к параметрам обычного звука. В таких условиях биологическое действие ультразвука приобретает некоторые новые особенности, для раскрытия которых необходимы своеобразные методические приемы. О своеобразии ультразвука низкой и высокой частоты можно судить по данным табл. 6.

Как видно из табл. 6, ультразвуки низкой и высокой частоты резко различаются по степени поглощения и в силу этого по дальности распространения в той или иной среде. Степень поглощения ультразвука частотой

РАССТОЯНИЯ, НА КОТОРЫХ СИЛА УЛЬТРАЗВУКА
РАЗЛИЧНЫХ ЧАСТОТ В ВОЗДУХЕ
И В ВОДЕ УБЫВАЕТ ВДВОЕ

Среда	Частота, кгц					
	10	20	30	100	500	1000
Воздух	220 м	55 м	24 м	220 см	88 см	2,2 см
Вода	400 км	100 км	44 км	4 км	160 м	40 м

1000 кгц в 2000—2500 раз больше, а дальность распространения в такое же количество раз меньше, чем ультразвука частотой 20 кгц. Аналогичные данные для более узкого диапазона высоких частот и для биологических объектов были приведены выше (см. табл. 4).

Из этого следует, что если для ультразвука высокой частоты воздушная среда является практически непреодолимой преградой, то ультразвуки низких частот могут распространяться в ней на довольно большие расстояния. Еще в большей степени дальное действие низкочастотного ультразвука проявляется в водной среде. В связи с такими особенностями распространения и поглощения низкочастотного ультразвука возникают важнейшие особенности методики изучения его биологического действия. Эти особенности заключаются, во-первых, в необходимости изучения дистантного действия низкочастотного ультразвука через воздушную среду в отличие от необходимости изучения преимущественно контактного действия высокочастотного ультразвука. Во-вторых, если для высокочастотных ультразвуков характерно главным образом местное действие, в порядке контактирования излучателя с определенной частью тела или его органом, то для низкочастотных ультразвуков характерно в особенности диффузное, общее воздействие. Диффузность действия ультразвука низкой частоты зависит как от его распространения через воздушную среду, так и от глубины проникновения в тело живого организма.

Однако наряду с этим для ультразвука низкой частоты не устраняется вопрос об особенностях его местного действия на ту или иную часть тела при условии экранизации других частей. Необходимость этого вытекает из особенностей воздействия низкочастотного ультразвука

на людей при обслуживании разнообразных промышленных установок. В этих случаях ультразвук особенно сильно действует на открытые части тела (лицо, руки), так как все другие части тела обычно защищены одеждой. Но одежда зависит от особенностей производственной среды, от сезона года, и поэтому ее экранирующее значение для разных частей тела является переменным. В силу этого представляется необходимым изучить особенности биологического действия ультразвука при диффузном и локальном его применении, а также при различных случаях его локального воздействия (дифференциальное значение озвучивания разных частей тела человека и животных).

В связи с физиологическими данными о частотных границах восприятия органом слуха животных воздушных колебаний возникает вопрос о способе действия ультразвука — действует ли он только через орган слуха или также и через какие-либо другие части тела. Этот вопрос тесно связан с предыдущим вопросом о значении общего и местного воздействия ультразвука. Его возникновение также связано с особенностями распространения ультразвуков низкой частоты. По поводу высокочастотных ультразвуков, действующих контактно, вопрос о преимущественности действия ультразвука через орган слуха даже и не ставился.

Эти и другие новые вопросы биологического действия низкочастотного ультразвука требуют и новых методических приемов. Они описаны ниже с учетом опыта их применения в физиологической лаборатории Московского научно-исследовательского института гигиены имени Ф. Ф. Эрисмана.

2. ИСТОЧНИК УЛЬТРАЗВУКА И МЕТОДИКА ОЗВУЧИВАНИЯ

В нашей работе применялись отечественные сирены конструкции ВНИТИ (г. Коломна). ВНИТИ изготавливает несколько типов ультразвуковых сирен. Сирены УЗГ-7а и УЗГ-7г (подобные сирены описаны В. П. Веллером и Б. И. Степановым, 1963) в течение ряда лет применялись нами в исследованиях по биологическому действию ультразвука (Ю. Я. Борисов, Л. О. Марков, 1960).

Сирены УЗГ-7а и УЗГ-7г, несмотря на малые размеры, расходуют во время работы много воздуха (2—3 м³/мин). Для создания воздушной струи необходимого давления и мощности нужна компрессорная установка. У нас в качестве таковой служит компрессор ВК 3/5 (1) Краснодарского механического завода, приводимый в действие электродвигателем на 20—25 квт (2). Общая схема нашей установки показана на рис. 9.

Необходимый запас воздуха и выравнивание толчков его давления создается ресивером (3), включенным на пути воздуха из компрессора к сирене (4). Воздух, идущий из компрессора, очищается от масла масляным фильтром (5), находящимся между компрессором и ресивером. Часть воздуха подается в резервуар для масла (6), установленный на самой сирене. Этим обеспечивается подача масла к трущимся деталям сирены. Во избежание перегрева сирены к ней подается охлаждающая вода (7). Вода для охлаждения подается и в рубашку компрессора (8). Воздух, всасываемый компрессором, предварительно очищается (9). Отработанный воздух из сирены поступает обратно во всасывающую систему компрессора (10). Тем самым озвучиваемые животные не подвергаются действию струи воздуха. Для возмещения потерь воздуха компрессору обеспечена возможность подсоса (11).

Электродвигатель (12) вращает преобразователь частоты ГИС-2 (13). При этом обмотка возбуждения преобразователя подмагничивается от выпрямителя ВС. Сила тока подмагничивания регулируется реостатом Р. Получаемый в преобразователе частот ток 600—800 гц направляется в электродвигатель сирены.

Такое устройство нашей ультразвуковой установки обеспечивает на выходе сирены интенсивность ультразвука в 140 дб, что достаточно для выполнения наших задач.

Частота ультразвука, образуемого в нашей установке, может быть изменена двояко: заменой дисков сирены и изменением коэффициента передачи между шкивом мотора и шкивом преобразователя частоты. Конструктивные особенности нашей установки таковы, что в ней сравнительно легко допускается установка частоты генерируемого ультразвука в пределах 25—75 кгц.

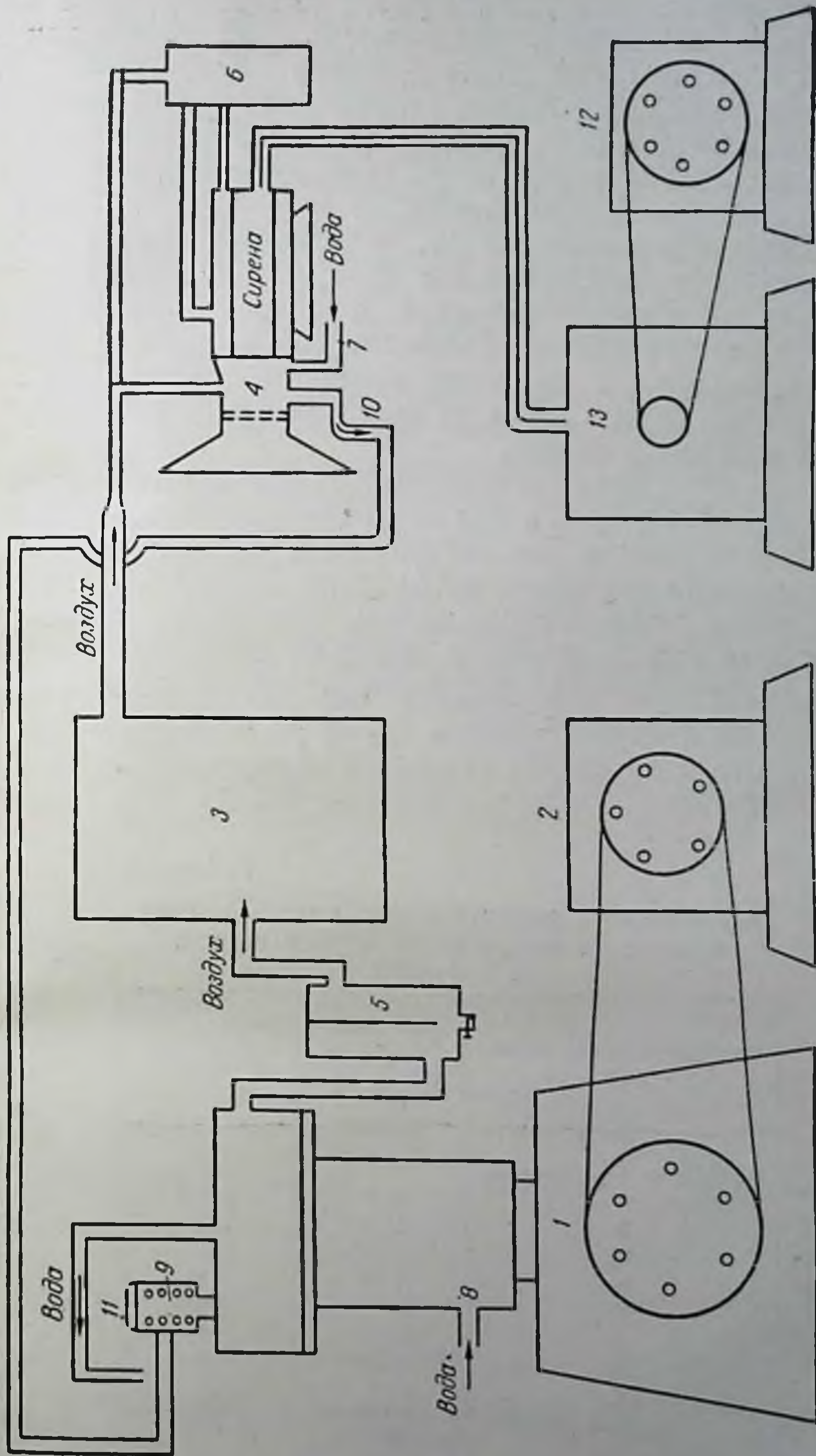


Рис. 9. Схема ультразвуковой установки физиологической лаборатории НИИ гигиены им. Ф. Ф. Эрнстмана. Объяснение в тексте.

Для обеспечения равномерного облучения всей поверхности тела подопытных животных их помещали в полый металлический шар. Диаметр этого шара 1 м. Ультразвуковой луч сирены направляют через небольшое отверстие на боковой стороне шара. Ультразвуковые колебания, попав внутрь шара, многократно отражаются от его внутренней поверхности, за счет чего в любой точке внутри шара создается практически одинаковой интенсивности ультразвуковое поле. Регулировка интенсивности ультразвукового поля в шаре производится путем удаления или приближения сирены от отверстия в шаре. В табл. 7 показано изменение интенсивности ультразвука внутри шара за счет изменения расстояния между сиреной и шаром.

Применение шара ограничивает рассеивание ультразвука по лаборатории и тем самым уменьшает опасность озвучивания работников лаборатории. В тех случаях, когда по условиям опыта необходимо получение ультразвука очень малой интенсивности, помимо регулировки расстояния между шаром и сиреной, возможно применение дополнительной регулировки путем помещения специального фильтра между сиреной и отверстием в шаре.

Таблица 7

ЗАВИСИМОСТЬ ИНТЕНСИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКА
В ШАРЕ ОТ РАССТОЯНИЯ МЕЖДУ ШАРОМ
И СИРЕНОЙ

Расстояние между шаром и сиреной, см	Показания дозиметра (внутри шара), в	Децибелы
Вплотную к отверстию шара	2,8	140
5	1,5	130
10	1,25	125
20	1,07	124
30	1	120
40	0,6	118
50	0,45	116
55	0,3	113
55 + фильтр	0,06	98

Фильтры изготавливаются из бязи. Между количеством слоев бязи и степенью снижения интенсивности проходящего через фильтр ультразвукового пучка имеется линейная зависимость. Зависимость интенсивности ультразвука внутри шара от фильтра показана на рис. 10.

Спектральная характеристика колебаний, генерируемых сиреной при ее настройке на 54 кгц, представлена на рис. 11. Как видно из рисунка, в спектре наряду с ультразвуковыми колебаниями имеются и звуковые колебания с интенсивностью, составляющей на частотах до 200 гц около 90 дб, до 8000 гц—95 дб и на частоте 16 000 гц — 100—105 дб.

В связи с этим часть наших опытов на животных во избежание дополнительного воздействия на них звуковых колебаний ставилась при условии защиты их ушей антифонами или при разрушении барабанных перепонки и слуховых косточек, чем достигалось снижение их слуховой чувствительности.

При оценке значения такого характера звуковой части спектра нашей установки необходимо иметь в виду, что если пороговая интенсивность для слуха при частоте 2000 гц является самой минимальной и принимается условно равной 0 дб, то при частоте 16 000 гц она значительно увеличивается, составляя 70—80 дб.

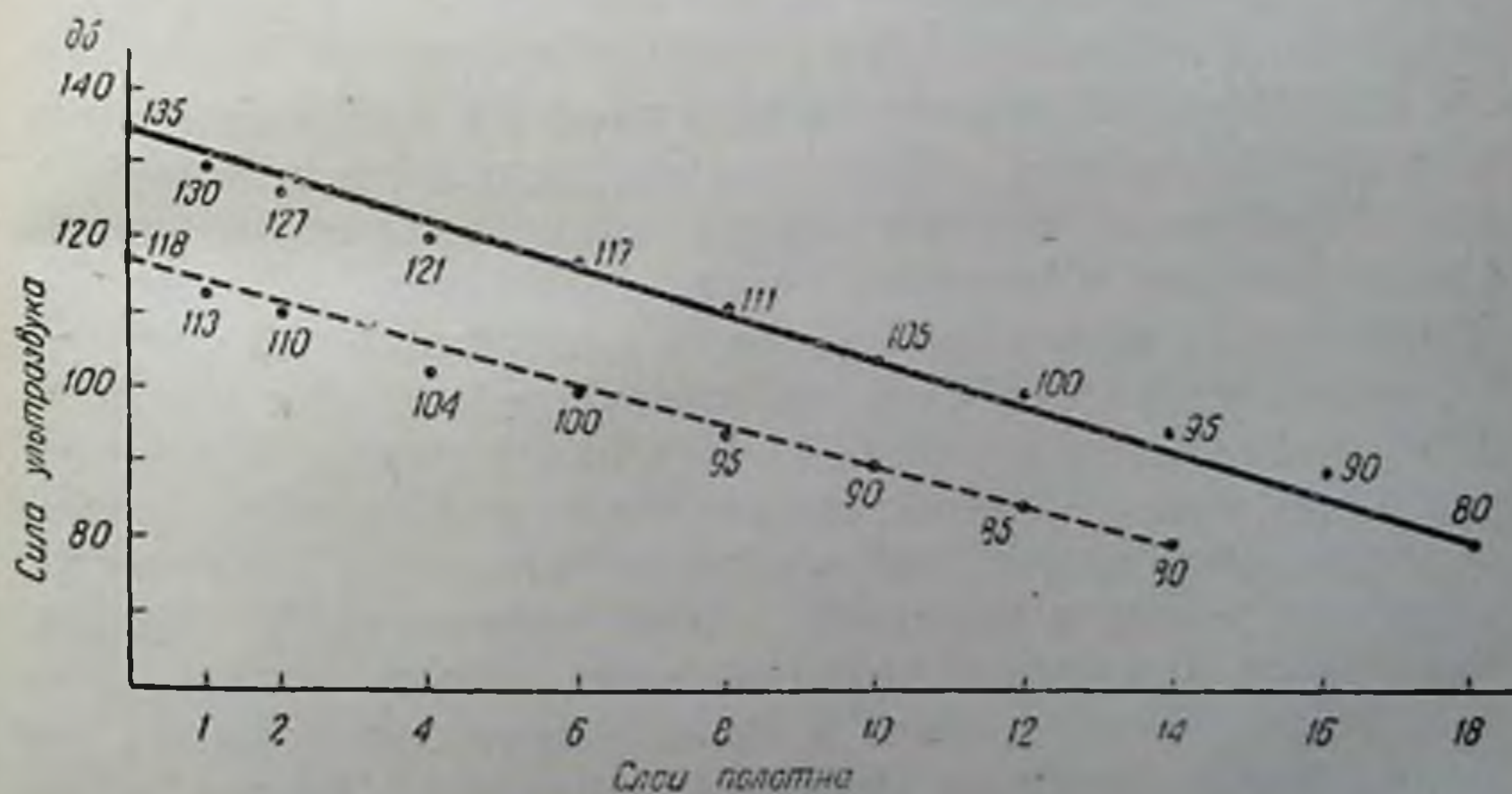


Рис. 10. Зависимость поглощения ультразвука от количества слоев полотна.

Снижение слуховой чувствительности у наших животных с помощью антифонов или разрушением барабанных перепонки и слуховых косточек приводило к тому,

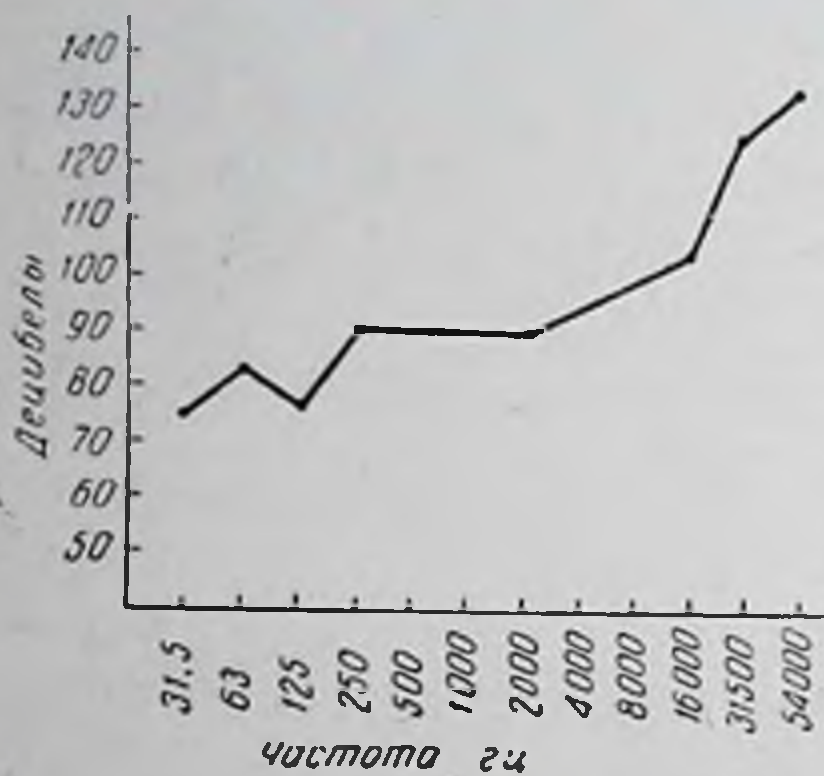


Рис. 11. Спектр колебаний, генерируемых ультразвуковой установкой физиологической лаборатории Института гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана. Измерения произведены с помощью шумомера системы Бриюль и Кьер.

что звуковая часть спектра колебаний сирены становилась для них подпороговой, чем и исключалось ее воздействие на животных.

3. ИЗМЕРЕНИЕ И ДОЗИМЕТРИЯ УЛЬТРАЗВУКА

Измерение ультразвука основано на методах приема и измерения длины волны, его интенсивности и поглощения. Методы измерения ультразвука заметно отличаются от методов измерения звука слышимых диапазонов. В настоящее время разработаны следующие методы:

а) механические, включающие способы визуального наблюдения звуковых волн при помощи фигур из пыли, порошка, капелек жидкости, использование звукометрического диска, определение давления излучения путем внесения в звуковое поле препятствий. Точное измерение давления излучения может быть произведено при помощи радиометра в виде крутильных весов, на одном конце которых имеется слюдяной листик, а на другом — небольшой противовес. Имеется целый ряд конструкций подобного рода весов;

б) термические — использующие различной системы микрофоны. Большинство такого рода термо-микрофонов работает на принципе изменения сопротивления тонкой слегка подогретой проволочки в звуковом поле. Поскольку частота ультразвуковых колебаний высока, то вследствие тепловой инерции нити можно регистрировать лишь постоянные отклонения температуры нити от температуры покоя. С этой целью нить включается в схему чувствительного моста. Толщина платиновой подогреваемой нити всего несколько микрон, а длина 15—20 мм. В силу небольшого размера такие нити не нарушают звукового поля, что является преимуществом этих приемников в случае применения для измерения стоячих и бегущих волн;

в) пьезоэлектрические измерители, работающие на следующем принципе. В пластинке пьезокристалла, в направлении одной из ее осей, за счет звуковой волны возбуждаются механические колебания, приводящие к деформации кристалла. Напряжение, развиваемое на кристалле за счет звукового давления и усиленное электронным устройством, измеряется прибором, включенным в анодную цепь выходной лампы усилителя. В пьезоэлектрических микрофонах используют кристаллы кварца, сегнетовой соли, титаната бария, сульфата лития. Чувствительность пьезоэлектрических микрофонов очень высокая.

В ряде случаев ультразвук можно измерять ультразвуковым интерферометром, представляющим ультразвуковой излучатель, работающий, как приемник. С его помощью можно измерить длину волны. Кроме того, в приборах, используемых для измерения ультразвука в воздушной среде, применяются конденсаторные микрофоны. Приборы такого типа получили широкое распространение в промышленности, например ультразвуковой измеритель датской фирмы Брюэль и Кьер. В настоящее время такого типа приборы используются для определения параметров ультразвука в гигиенических целях. Общую схему устройства подобного рода приборов можно представить как микрофон конденсаторного типа и спектрометр. Микрофон включен в электрический контур. Передней стенкой конденсатора является металлическая диафрагма. Между диафрагмой и задней стенкой воздушная полость — емкость конденсатора. Под дейст-

вием механических колебаний диафрагма приходит в движение, которое изменяет емкость конденсатора и соответственно характеристику электрической схемы. Напряжение с электрической схемы микрофона подается на усилитель, а затем на акустические фильтры спектрометра. В нем имеются фильтры на $1/3$ октавы в диапазоне от 40 до 31 500 гц. Показания прибора можно регистрировать визуально или с помощью самописца. Подобного рода приборы позволяют определять спектральное распределение звуков и ультразвуков, устанавливать уровень отдельных спектральных составляющих и среднеквадратичную величину силы звукового и ультразвукового давления, выраженную в децибелах по отношению к пороговому значению $2 \cdot 10^{-4}$ бара. Частотная чувствительность прибора, составляющая 40—31 500 гц, для целей гигиенических исследований часто недостаточна.

Помимо указанных приборов, где воспринимающим датчиком служит микрофон конденсаторного типа, используются измерители с пьезоэлектрическими датчиками. Из отечественных ультразвуковых приборов можно указать на акустический зонд АЗ-3. Акустический зонд АЗ-3 предназначен для измерения звуковых давлений в газах и жидкостях при промышленном использовании ультразвука. Для медицинских и гигиенических целей он малопригоден, однако используется и в такого рода исследованиях, главным образом в лабораторных условиях и частично на производстве для определения ультразвукового давления больших параметров.

Работа с прибором производится следующим образом. При измерении звукового давления сферический приемник помещают в исследуемую среду так, чтобы держатель был расположен по возможности по направлению распространения звуковой волны. При измерении звукового давления, когда кривая давления близка к синусоидальной, данные определяют по показаниям вольтметра в милливольтках и затем путем расчета по формуле или номограмме устанавливают величину звукового давления, силы звука или уровня силы звука соответственно в дин/см², вт/см², дб. Если форма кривой резко отличается от синусоидальной, то по стрелочному индикатору нельзя судить об эффективной величине на-

пряжения. В этом случае измерение проводят методом сравнения с известным напряжением на экране трубки. При необходимости снимают осциллограмму кривой и графическим способом определяют действующее значение исследуемого напряжения. Для перевода полученных данных в единицы звукового давления пользуются следующей формулой:

$$P = \frac{v}{E} \cdot 10^3,$$

где P — звуковое давление в дин/см²;

V — показания индикатора в мв;

E — чувствительность сферического приемника давления

$$в \frac{\text{ткв} \cdot \text{см}^2}{\text{дин}} = \frac{\text{Мкв}}{\text{бар}}.$$

Номограмма для определения звукового давления (рис. 12) состоит из левого крайнего столбца, где нанесены милливольты для приемника диаметром 15 мм, соответствующие показаниям индикатора АЗ-3, во втором столбце отложены величины звукового давления в дин/см², в третьем столбце — деления в децибелах (L), соответствующие уровню звукового давления по отношению к пороговому значению

$$P_0 = 2 \cdot 10^{-4} \text{ дин/см}^2.$$

L определяется по формуле:

$$L = 20 \log \frac{P}{P_0},$$

где L — уровень звукового давления в децибелах;

P — давление в дин/см²

P_0 — пороговый уровень давления.

Последний столбец отградуирован в вт/см².

Определение по номограмме проводится так. Линейку прикладывают к номограмме, чтобы она перпендикулярно пересекала столбцы и проходила через отмеченное деление в милливольтках. Величины давления в интенсивности ультразвука, через которое пройдет линейка, и являются искомыми.

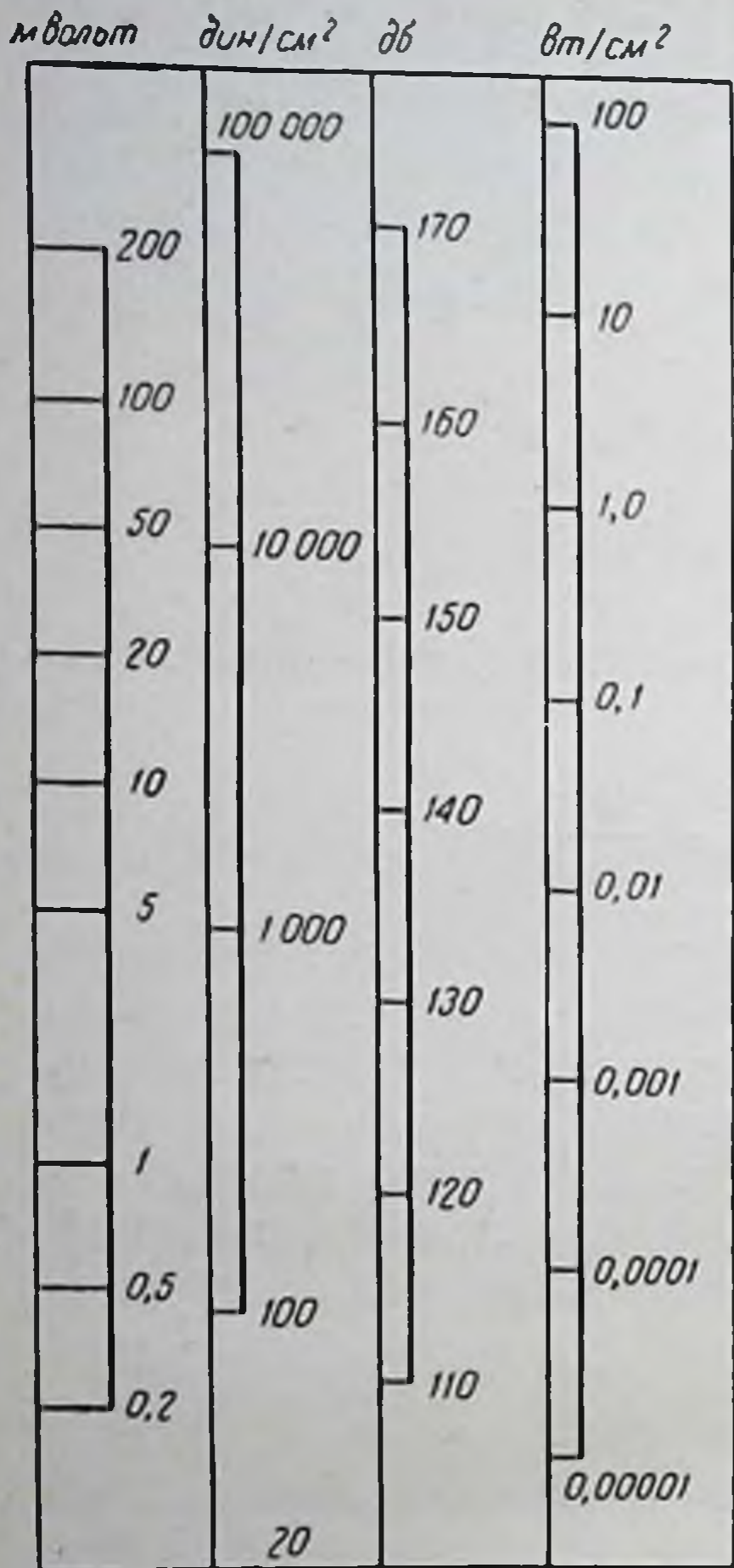


Рис. 12. Номограмма перевода показаний вольтметра в дин/см^2 дб, вт/см^2 для акустического зонда АЗ-3 при сферическом приемнике давления $\varnothing = 15$ мм.

Описанные приборы для измерения частоты и силы ультразвука не вполне отвечают требованиям биологических исследований по ультразвуку. С этой точки зрения наиболее приемлемыми были бы приборы, позволяющие производить исследования в воздухе при частотах от 20 до 150 кгц с уровнями звукового давления от 50—60 до 170—180 дб. В приборах обязательно должен быть спектрометр, графическая регистрация показаний. В этом случае путем соответствующих исследований можно было бы давать подробную ультразвуковую характеристику того или иного производства, где имеет место образование ультразвука. Вместе с тем это не исключает проведения биологической дозиметрии ультразвука.

В понятии биологической дозиметрии ультразвука многое остается неясным. Даже термину «доза ультразвука», как справедливо указывают Б. Р. Киричинский и С. А. Берштейн (1962), до сих пор дается со-

вершенно разное толкование. С проблемой дозиметрии ультразвука связано решение таких важных вопросов, как определение предельно допустимых доз облучения на производстве, установление оптимальных терапевтических доз при применении его в клинике лечения ряда заболеваний и т. д. Основным препятствием для биологической дозиметрии ультразвука, как уже указывалось является отсутствие соответствующих измерительных

приборов, позволяющих определять физическую дозу. С другой стороны, открытым остается вопрос о том, как производить определение поглощения энергии в тканях человека и животных. Все это выдвигает перед биологической дозиметрией ряд задач, с решением которых будет связана эта проблема. К ним относятся:

1) изучение механизма поглощения в биологических тканях и особенности распределения энергии в облучаемом объекте;

2) определение зависимости биологического эффекта от интенсивности излучения, проникаемости тканей, коэффициента отражения, времени облучения, частоты и амплитуды колебаний и величины поглощенной дозы;

3) создание приборов и методов измерения частоты и интенсивности ультразвука в различных точках звукового поля, а также для измерения энергии колебаний, поглощенной в тканях облучаемого.

В решении этих задач сделано еще очень мало. Для измерения поглощенной в тканях человека и животных энергии ультразвука исследователями предложены оптический (Hutner, Pohlman, 1949) и колориметрический (Taguet, 1956) методы.

Однако они не решают достаточно полно этого вопроса. Отсутствие систематизированных и обобщенных разработок по биологической дозиметрии ультразвука создает большие трудности при сравнении материала по биологическому действию ультразвука, полученного различными исследователями.

Решение вопроса биологической дозиметрии ультразвука требует совместных усилий биологов, физиков — акустиков и математиков.

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАЗВУКА НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

Выше были приведены основные данные об особенностях биологического действия ультразвука высокой частоты. Они были получены на протяжении многолетней исследовательской работы, проводимой на самых разнообразных объектах. Исследовательская работа по изучению особенностей биологического действия ультразвука низкой частоты началась только в самое последнее время. Ее направленность на первоочередное изучение возможного влияния промышленного ультразвука на человека, обслуживающего производственные ультразвуковые установки, обусловила и особенности подхода к ее выполнению. Этими особенностями являются:

1) преимущественное изучение биологического действия низкочастотного ультразвука на высокоорганизованных живых существах;

2) изучение сдвигов в организме по показателям состояния важнейших функциональных систем (нервная и эндокринная система, система кровообращения, процессы терморегуляции и обмена веществ);

3) изучение зависимости сдвигов в организме от интенсивности и частоты ультразвука, продолжительности и повторности его действия, от общего и местного воздействия;

4) изучение сдвигов, возникающих у людей непосредственно на производстве.

Исследования в таком плане были проведены в основном в Научно-исследовательском институте гигиены имени Ф. Ф. Эрисмана. Результаты этих исследований и положены в основу содержания настоящей главы. Однако при этом найдут отражение и экспериментальные данные, полученные в других лабораториях.

1. ДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА ФУНКЦИИ НЕРВНОЙ СИСТЕМЫ

В опытах на кроликах и белых крысах биологическое действие ультразвука на функции нервной системы исследовалось путем изучения биотоков коры больших полушарий головного мозга кроликов, условнорефлекторной деятельности и скрытого времени безусловнорефлекторной оборонительной двигательной реакции (у белых крыс).

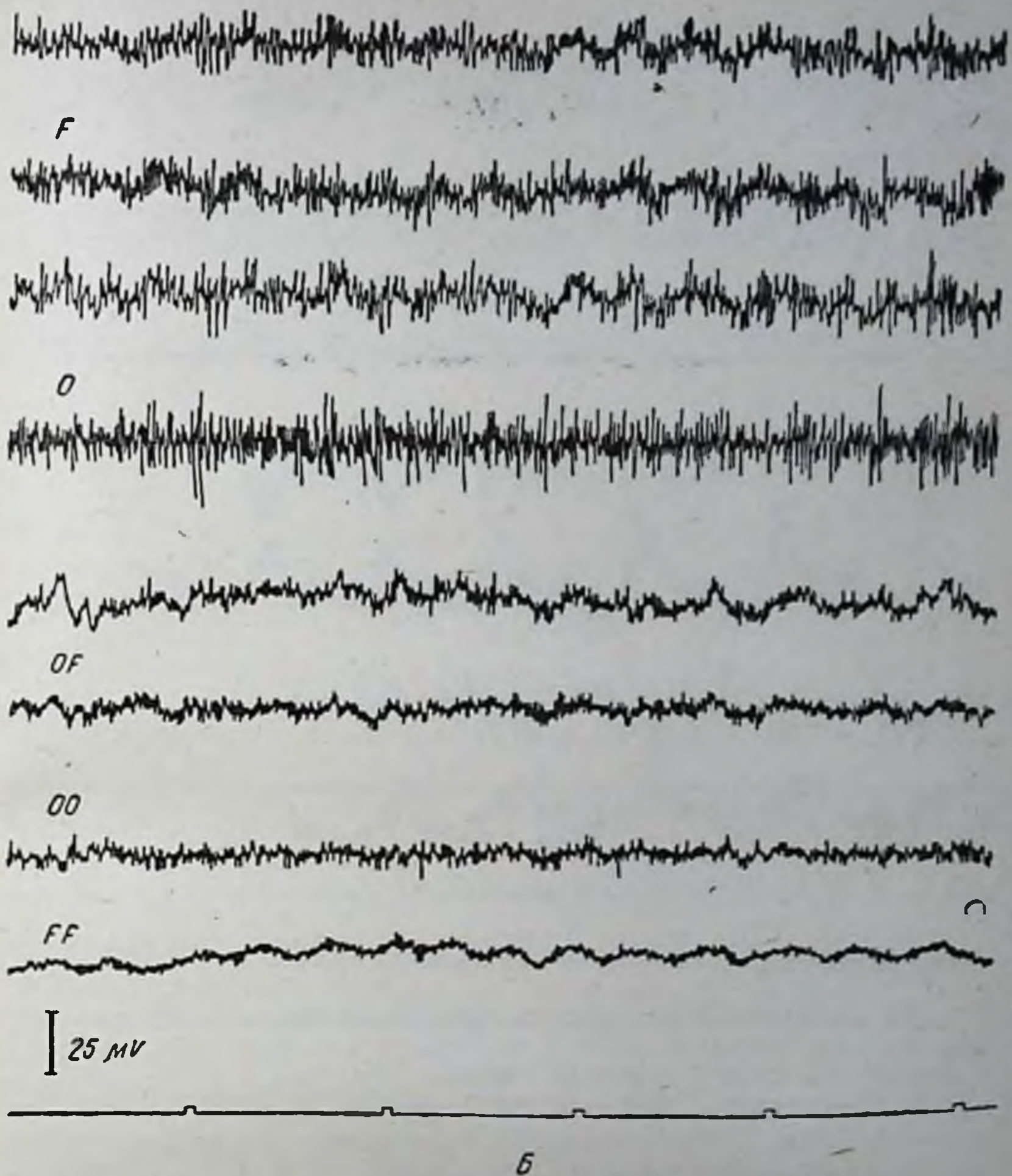
а) Изменение биотоков коры мозга у кроликов. Вначале эти опыты производились М. А. Новиковым. Им использовались биполярные отведения при помощи вколоченных игольчатых электродов. Области отведения: правая и левая лобные, правая и левая лобно-теменные (моторные) зоны, правая и левая теменные. Расстояние между электродами было равно 6—8 мм. Запись велась с помощью 8-канального чернильно-пишущего энцефалографа фирмы Kaisers-laboratorium. Частота ультразвука 54 кгц, интенсивность до 115 дб. Были получены следующие основные данные.

Десятиминутное озвучивание вызывало незначительные изменения электроэнцефалограммы, которые выражались в нестойком повышении амплитудных значений, главным образом быстрых компонентов (рис. 13). 20—30-минутное озвучивание вызывало более выраженные и более стойкие изменения электроэнцефалограммы, носившие фазный характер. Сразу после выключения сирены появляется строго регулярный, высокоамплитудный (70 мкв) ритм частотой 2 колебания в секунду, мало поддающийся внешним воздействиям, продолжающийся в течение 1—5 минут (рис. 14). На фоне этого ритма наблюдаются нерегулярные низкоамплитудные колебания частотой 45—55 в секунду. По мере исчезновения



Рис. 13. Электроэнцефалограмма кролика
A — до воздействия; *Б* — после воздействия ультразвуком. *F*, *O*, *OF*, *OO*,
 мени и световой стимуляции.

редкого высокоамплитудного ритма быстрые колебания начинают группироваться в синхронизированные вспышки продолжительностью 150—200 мсек, приобретающие все более выраженный веретенообразный вид (рис. 15). Спустя 10—15 минут после прекращения озвучивания веретенообразный ритм начинает перемежаться вспышками высокоамплитудного (до 100 мкв) ритма частотой 13—14 колебаний в секунду. Веретенообразный ритм сохраняется при этом преимущественно, а затем исключи-



до и после 10-минутного озвучивания.

FF — области отведения, указанные в тексте. Нижняя запись — отметка времени. Калибровка — 50 μV .

тельно, в передних отделах. Вспышки ритма 12—14 в секунду становятся все более частыми. Наряду с этим в задних и латеральных отделах, где плохо или совсем не выражены веретена, преобладают быстрые колебания частотой 40—50 в секунду (рис. 16). Через 2 часа на электроэнцефалограмме преобладают медленные волны 3—5 колебаний в секунду, отдельные веретена в передних отделах, редкие вспышки 13—14 колебаний в секунду. На другой день электроэнцефалограмма близка к



Рис. 14. Электроэнцефалограмма кролика сразу после 30-минутного озвучивания, появился ритм 2 колебаний в секунду. Он совпадает с ритмом дыхания. Включение фотостимулятора не меняет этого ритма. Сверху вниз: дыхание, ЭКГ, правая и левая затылочные, правая и левая лобно-затылочные области, отметка фотостимуляции.

исходной. Однако при раздражении светом усваивается только частота 5 колебаний в секунду.

Озвучивание в течение 60 минут вызывает ту же последовательность изменений электроэнцефалограммы. Однако все фазы становятся более продолжительными, амплитуда всех колебаний повышена. Эти изменения держатся в течение 2—3 дней.

Из этих данных видно, что воздействие ультразвука вызывает резкие функциональные изменения в центральной нервной системе, свидетельствующие, по-видимому, об угнетении коры головного мозга, о чем говорит появление веретен, очень похожих на те, которые имеются при барбитуратовом наркозе. Угнетение коры приводит к высвобождению, а может быть, повышению активности

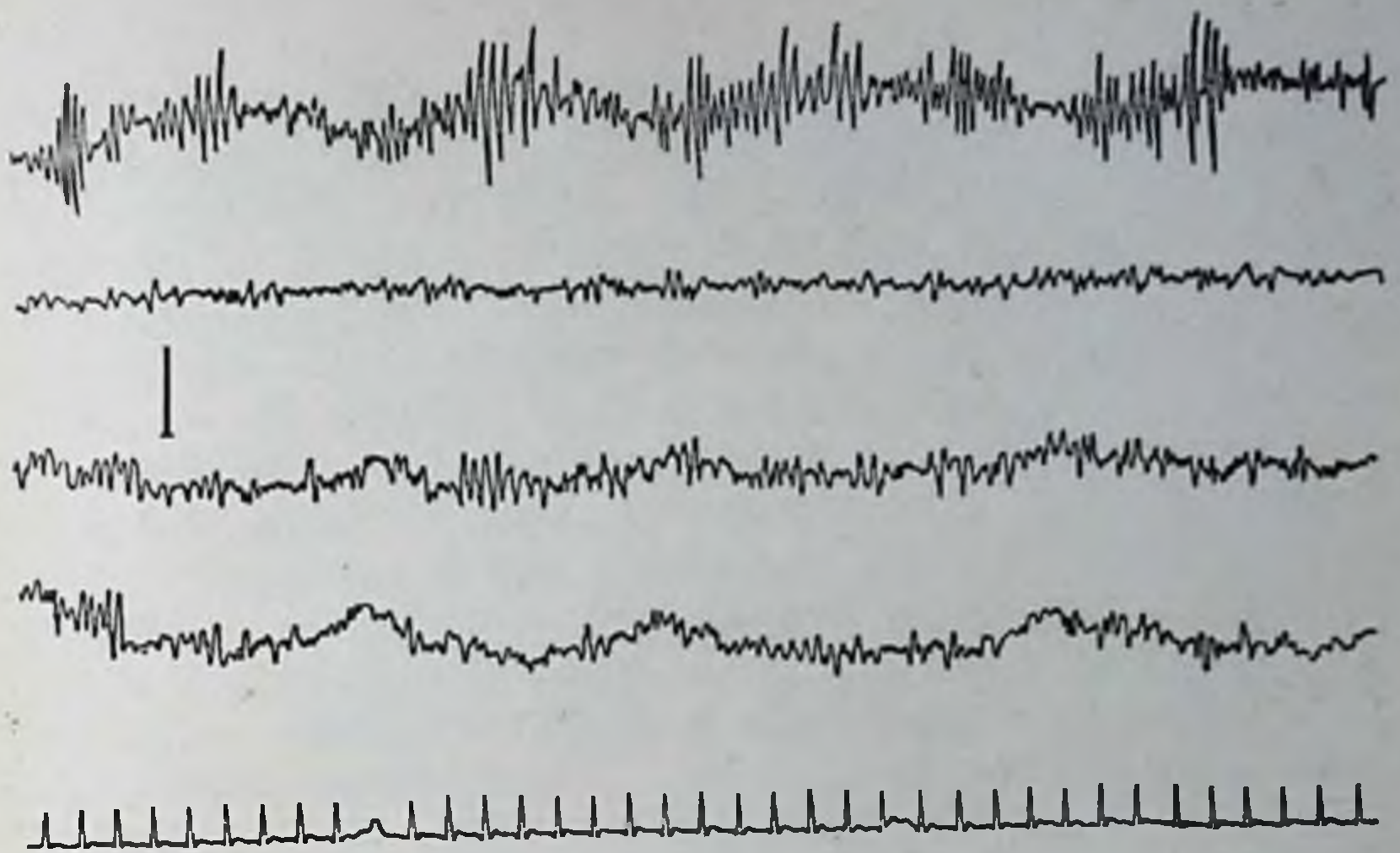


Рис. 15. Ритм 2 колебаний в секунду заменяется веретенообразным ритмом. Сверху вниз: правая и левая затылочные, правая и левая лобно-затылочные области, отметка фотостимуляции.

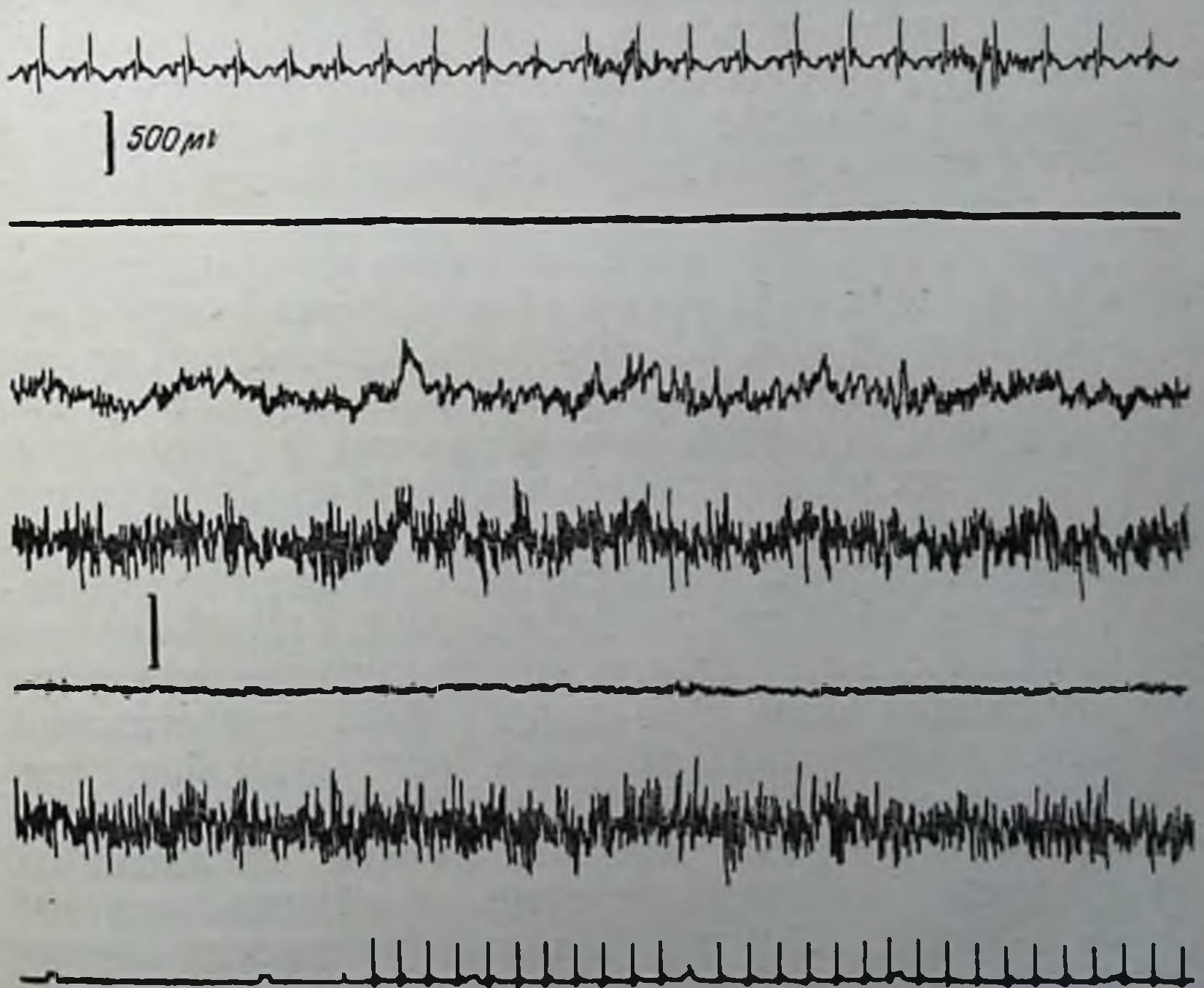


Рис. 16. Преобладание быстрых колебаний частотой 40—50 в секунду. Порядок записи тот же, что и на рис. 15.

подкорковых отделов, что выражается в появлении регулярного медленного ритма, плохо поддающегося внешним воздействиям. Этот ритм является действительно подкорковым, так как он совпадает с ритмом дыхания.

Дополнительный частотно-амплитудный анализ действия ультразвука на биопотенциалы коры мозга был проведен Г. А. Антроповым и И. Ф. Лакеевой. В этих опытах использовался также 8-канальный энцефалограф фирмы Kaisers. Для отведения биопотенциалов в различные области коры головного мозга кроликов — обонятельная луковица, правая лобно-теменная (сенсомоторная зона), правая и левая височные, правая и левая затылочные — вживлялись в полустерильных условиях электроды — стальные иглы. Вживленные электроды укреплялись на кости фосфатцементом или пластиком. Использовался биполярный способ отведения при межэлектродном расстоянии 2—3 мм. Опыты начинались на следующий день после операции. Одновременно с электроэнцефалограммой с целью выявления в ней вегетативных рефлексов регистрировались пневмограмма и электрокардиограмма. Исследованию изменений биотоков мозга под влиянием ультразвука предшествовало изучение биоэлектрической активности коры головного мозга у интактных кроликов. Последнюю запись у интактных кроликов производили непосредственно перед воздействием ультразвука.

После озвучивания запись биотоков мозга производилась сразу после выключения сирены, через 1 час и 3 часа после воздействия. В дальнейшем наблюдения велись ежедневно в течение 14—20 дней, т. е. до момента восстановления исходной биоэлектрической активности. В этих опытах производилось воздействие ультразвуком разной интенсивности, частоты и продолжительности.

У всех животных, подвергнутых озвучиванию ультразвуком частотой 54 кгц, при интенсивности 130 дб имелись выраженные сдвиги в электроэнцефалограмме, аналогичные описанным выше. Эти сдвиги были представлены фазовыми изменениями величины амплитуды биопотенциалов, появлением ритмов, синхронных с частотой пульса и дыхания. На фоне этих ритмов наблюдались нерегулярные низкоамплитудные колебания частотой 45—55 в секунду. Спустя некоторое время после озвучивания быстрые колебания начинали группироваться в

синхронизированные вспышки, приобретая все более выраженный веретенообразный вид и располагаясь преимущественно в передних отделах мозга. При этом амплитуда колебаний увеличивалась до 40—60 мкв. В сенсомоторной и затылочных областях отмечалось появление тахиритмии с группами волн частотой 9—15 гц. Амплитуда этих колебаний была 80—100 мкв. В то же время в затылочных областях регистрировались острые волны (спайки) с амплитудой порядка 90—110 мкв. Особенно наглядно действие ультразвука выразилось в изменении вольтажа биопотенциалов. Характеристика амплитудных изменений электроэнцефалограммы в средних величинах по всем обследованным областям представлена на рис. 17¹. Как видно из этого рисунка, сразу после озвучивания ультразвуком частотой 54 кгц при интенсивности 130 дб наблюдается понижение вольтажа основных для электроэнцефалограммы частот. Низкий уровень биоэлектрической активности удерживался в течение 3 часов, а в некоторых случаях (кролик № 4) наблюдался даже на протяжении 4 дней после озвучивания. В дальнейшем биоэлектрическая активность повышалась, превышая в ряде случаев (кролики № 5 и 6) исходный уровень. Период высокой биоэлектрической активности продолжался 4—5 дней, затем электроэнцефалограмма вновь уплощалась.

После воздействия ультразвука частотой 28 кгц, интенсивностью 130 дб, как и при озвучивании ультразвуком в 54 кгц, электроэнцефалограмма кроликов заметно изменялась. Изменения носили также фазовый характер. Однако в отличие от действия ультразвука частотой 54 кгц, когда изменения электроэнцефалограммы заключались главным образом в уменьшении амплитуды биопотенциалов, воздействие ультразвука частотой 28 кгц вызывало несколько большие изменения частотного параметра биоэлектрической активности. Кроме того, что в электрокортикограмме появлялись ритмы, синхронные с частотами дыхания и сердечной деятельности, наблюдался сдвиг диапазона основных частот биоэлектрических колебаний в сторону медленных волн.

¹ Величина биоэлектрической активности подсчитывалась за 20-секундный период. Затем выводилась средняя по всем обследованным областям коры. Характеристика амплитудных изменений электроэнцефалограммы представлена на рис. 17.

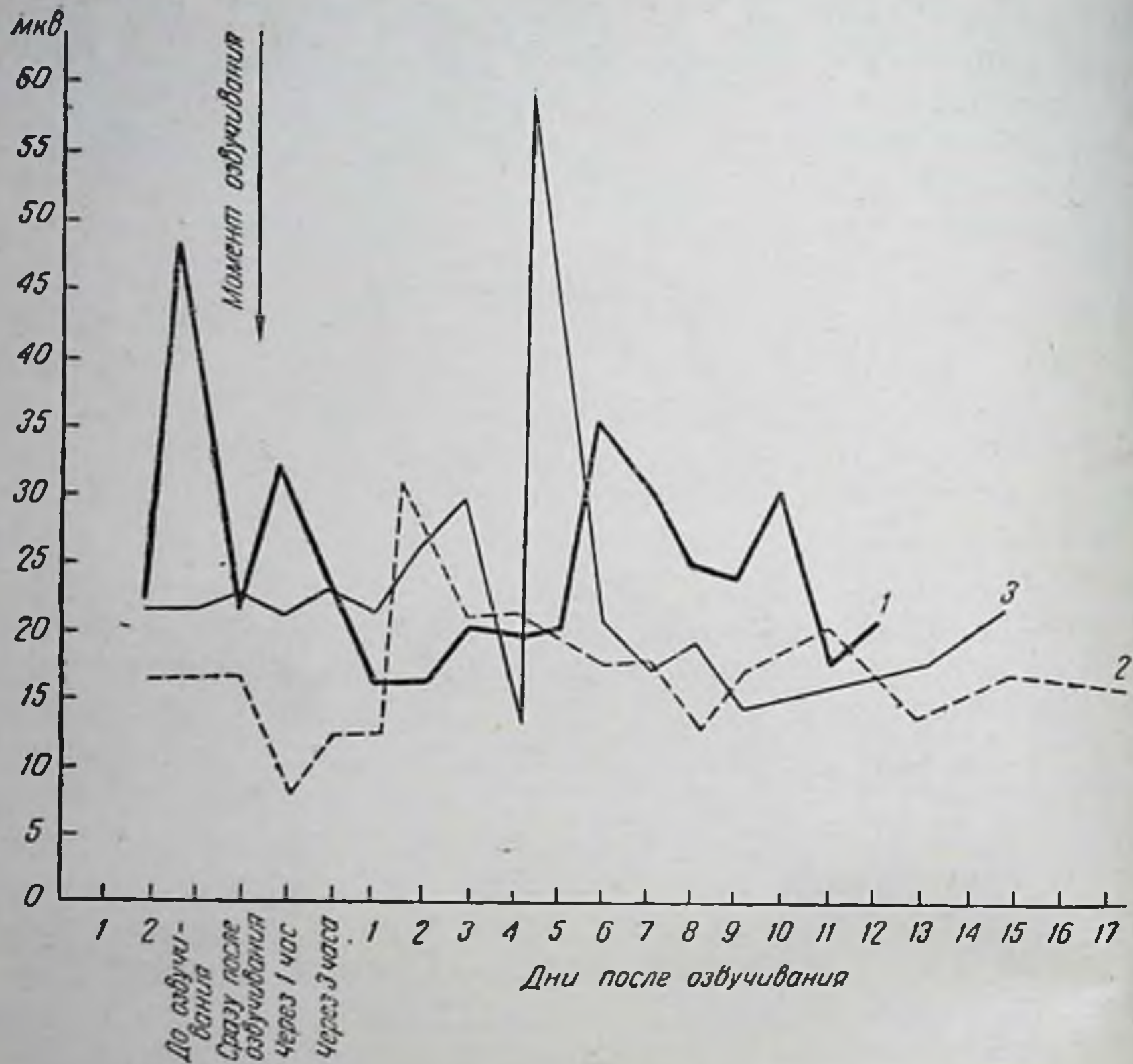


Рис. 17. Динамика биоэлектрической активности коры головного мозга кроликов при воздействии ультразвука 54 кгц, интенсивность — 130 дб. На ординате — амплитуда биопотенциалов в мкв, на абсциссе — время опыта.

Влияние ультразвука частотой 28 кгц на величину биопотенциалов было выражено в несколько меньшей степени, чем воздействие ультразвука частотой 54 кгц. Меньше было выражено снижение амплитуд биопотенциалов, несколько меньше была и продолжительность фазы угнетения. При одной и той же силе воздействия сдвиги в электроэнцефалограмме при частоте ультразвука 28 кгц выражены слабее, чем при частоте 54 кгц.

Таким образом, результаты опытов Г. А. Антропова и И. Ф. Лакеевой сходны с приведенными выше данными М. А. Новикова и свидетельствуют об угнетающем действии ультразвука примененных параметров на высшие отделы центральной нервной системы (снижение

вольтажа, появление веретен, ритма дыхания). В то же время в динамике биоэлектрической активности коры головного мозга кроликов после озвучивания ультразвуком частотой 54 кгц при интенсивности 130 дб выявляются две фазы: фаза низкой биоэлектрической активности сразу после озвучивания и фаза высокой активности коры, развивающаяся вслед за первой фазой. Продолжительность фаз различна у разных кроликов и находится, видимо, в тесной связи с индивидуальными особенностями нервной системы каждого животного.

Из приведенного материала большой интерес представляют данные о появлении в коре больших полушарий озвученных кроликов дыхательного и сердечного ритмов. Повышение при определенных условиях способности коры больших полушарий к усвоению ритма дыхания было описано и проанализировано А. И. Ройтбаком (1952), а также А. И. Ройтбаком и Г. Л. Бекая (1960). Эти авторы отмечали влияние дыхательного центра на систему неспецифических ядер таламуса и через них на передачу афферентных импульсов по специфической проекционной системе. Преимущественное снижение амплитуды биопотенциалов, наблюдающееся при воздействии ультразвука, одновременно с появлением на электроэнцефалограмме ритмов, синхронных с дыханием и сердечным циклом, позволяет предположить, что данный феномен имеет тот же механизм и при воздействии ультразвука.

При уменьшении интенсивности действующего ультразвука Г. А. Антропов и И. Ф. Лакеева, так же как и М. А. Новиков, отмечали уменьшение степени выраженности указанных сдвигов в электроэнцефалограмме кроликов вплоть до полного их исчезновения. Материалы, полученные М. А. Новиковым, Г. А. Антроповым и И. Ф. Лакеевой в эксперименте, нашли подтверждение в данных П. О. Шпильберг об особенностях электроэнцефалограммы у людей, подвергавшихся воздействию ультразвука в производственных условиях.

б) Влияние ультразвука на условнорефлекторную деятельность. Условнорефлекторная деятельность белых крыс исследовалась М. Н. Коноваловым по двигательноподковой методике, предложенной М. М. Котляревским (1954). В качестве положительных условных раздражителей служили звонок и белый свет (лампочка 15 вт),

в качестве дифференцировочного был взят зуммер. Пищевое подкрепление — подсолнечные семечки. Условные раздражители действовали в течение 10 секунд, время отставления подкрепления 5 секунд. Латентный период (скрытое время) условного рефлекса измерялся по электросекундомеру, величина условного рефлекса — по шкале водяного манометра.

Основываясь на изучении показателей скорости образования и укрепления условных рефлексов и дифференцировки, последовательного торможения и функциональных проб (суточное голодание, угашение и восстановление положительных условных рефлексов), у всех крыс были определены типологические особенности высшей нервной деятельности по трехтиповой схеме Котляревского. После образования положительных рефлексов и дифференцировки исследование корковой деятельности проводилось по стереотипу ток — свет — звонок — зуммер — звонок — свет. Проведено всего более 1100 опытов по образованию положительных и отрицательных условных рефлексов и изучению изменения их под влиянием ультразвука. После определения типологических особенностей и изучения фоновой условнорефлекторной деятельности крысы подвергались однократному ультразвуковому воздействию в течение 10, 30, 60 минут и в течение 3 часов.

Все крысы были разбиты на три группы по 6 животных в каждой. Первую группу подвергли воздействию ультразвука частотой 54 кгц, интенсивностью 120 дб в течение 10 минут, вторую группу — воздействию ультразвука в течение 30 минут и третью группу — воздействию ультразвука в течение 60 минут. Еще одна группа в количестве 4 крыс была подвергнута озвучиванию в течение 3 часов. Контроль к каждой группе составили 6 или 12 крыс, готовящихся к озвучиванию в предстоящей серии. Опыты по исследованию влияния ультразвука на условнорефлекторную деятельность проводились в течение 5 месяцев (с марта по июль). Были получены данные, говорящие о том, что ультразвук в примененных параметрах является фактором, вызывающим серьезные функциональные изменения в центральной нервной системе. Степень выраженности этих изменений зависит от дозировки ультраакустической энергии. 10-минутное озвучивание вызывает непродолжительное нарушение

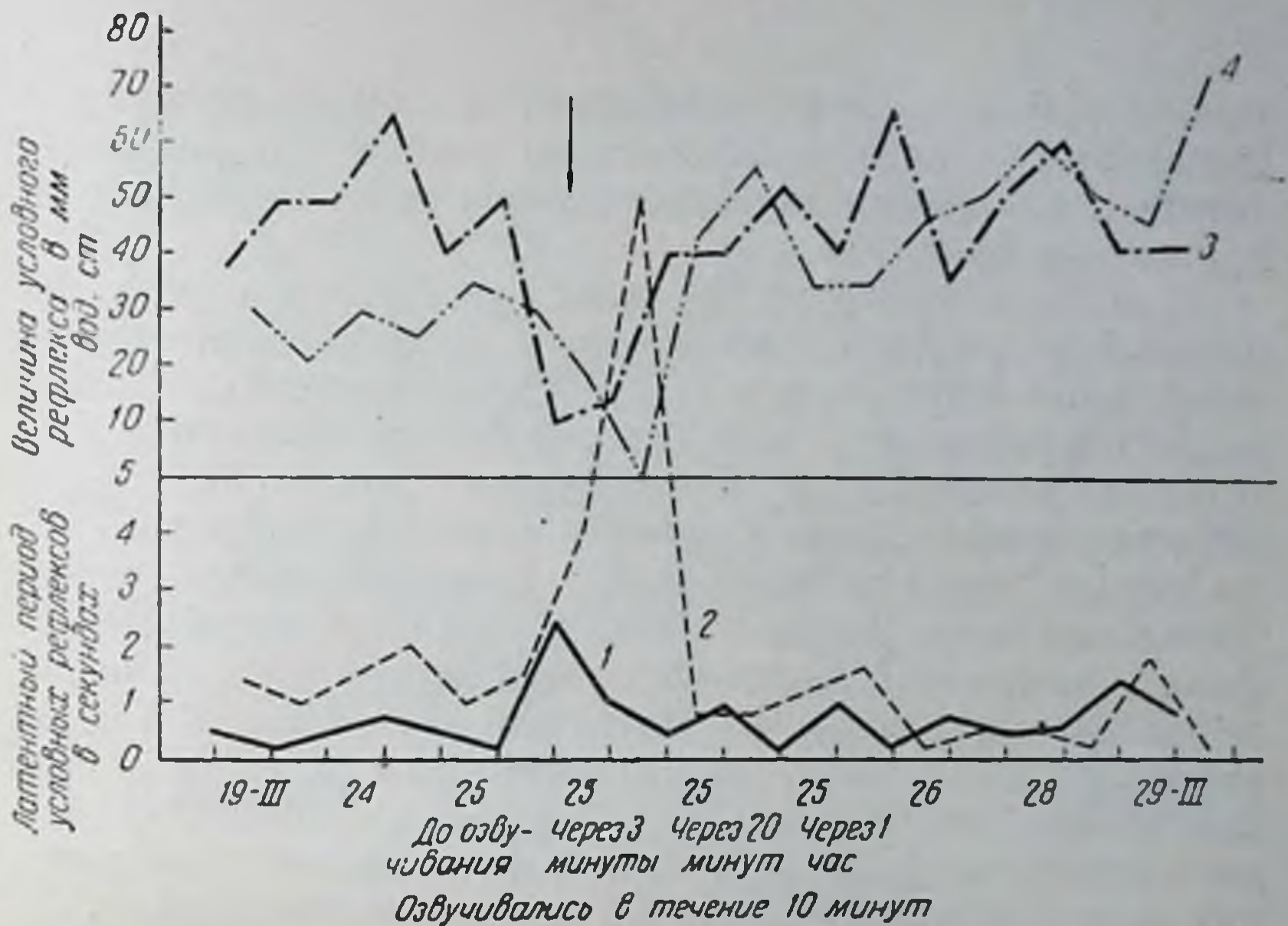


Рис. 18. Изменение условнорефлекторной деятельности белой крысы, озвученной в течение 10 минут.

Стрелка — момент озвучивания; 1 — латентный период условнорефлекторной реакции на звук; 2 — то же на свет; 3 — величина условного рефлекса на звук; 4 — то же на свет.

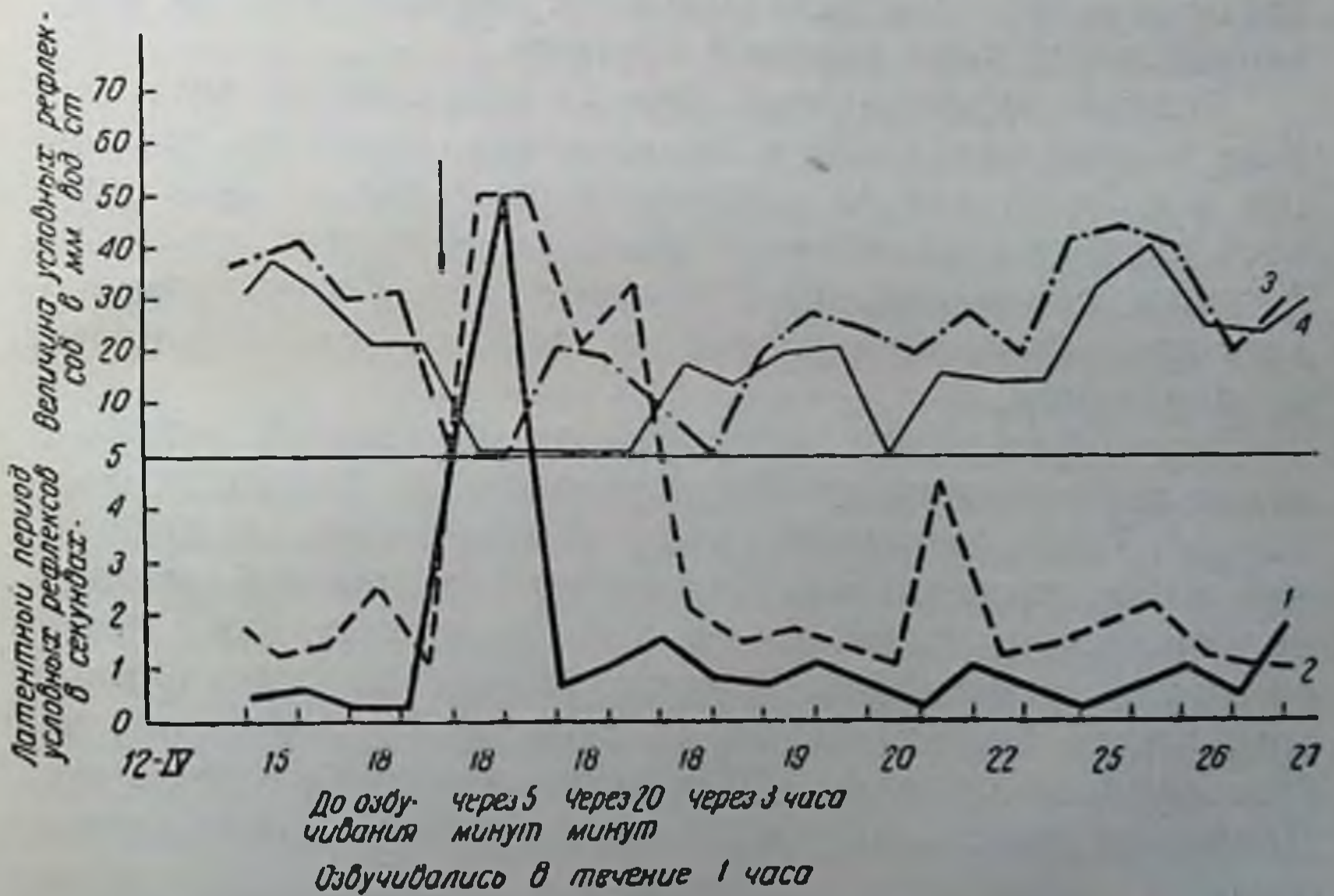


Рис. 19. Изменение условнорефлекторной деятельности белой крысы, озвученной в течение 1 часа.

Обозначения те же, что на рис. 19.

Условнорефлекторной деятельности, выражающееся в выпадении условного рефлекса на слабый раздражитель (свет) и удлинении латентного периода на сильный раздражитель (рис. 18).

При 30- и 60-минутном озвучивании (рис. 19) изменения условнорефлекторной деятельности белых крыс более выражены и более продолжительны. Сразу после озвучивания у всех крыс наблюдается полное торможение условных и натуральных рефлексов. На 2-й день после озвучивания уровень условных рефлексов ниже нормы, латентные периоды удлинены, наблюдаются парадоксальные фазы. С 5—6-го дня начинается вторая фаза угнетения условнорефлекторной деятельности, продолжающаяся до 18—20-го дня. Начиная с 21-го дня условнорефлекторная деятельность держится на исходном уровне, но гипнотические фазы (уравнительная и парадоксальная) не исчезают полностью до последнего дня исследования (1½ месяца после озвучивания).

Особый интерес представляют результаты 3-часового воздействия ультразвука частотой 54 кгц при интенсивности 120 дб. Как уже говорилось, в этой группе было 4 крысы (№ 16, 17, 18 и 19). В опыт были подобраны крысы сильного, возможно, более уравновешенного типа нервной системы.

Условнорефлекторный фон до озвучивания (рис. 21) был весьма стабильным по величине условных рефлексов и по показателям латентных периодов. Не наблюдалось случаев выпадения условных рефлексов, развития фазовых гипнотических состояний. Дифференцировка у всех крыс была абсолютной в течение 5—10 фоновых исследований.

После 3-часового озвучивания наступает картина резко выраженного стойкого нарушения условных рефлексов. Так, у крысы № 16 при исследовании через 5 минут после прекращения 3-часового озвучивания наблюдалось полное торможение как условных, так и натурального рефлексов. Крыса находится в камере совершенно без движения, не подходит к кормушке, не реагирует на сигналы. Отмечается учащенное дыхание. Движения крысы затруднены из-за пареза задних конечностей.

При исследовании через 3 часа после прекращения 3-часового озвучивания также отсутствуют условные и

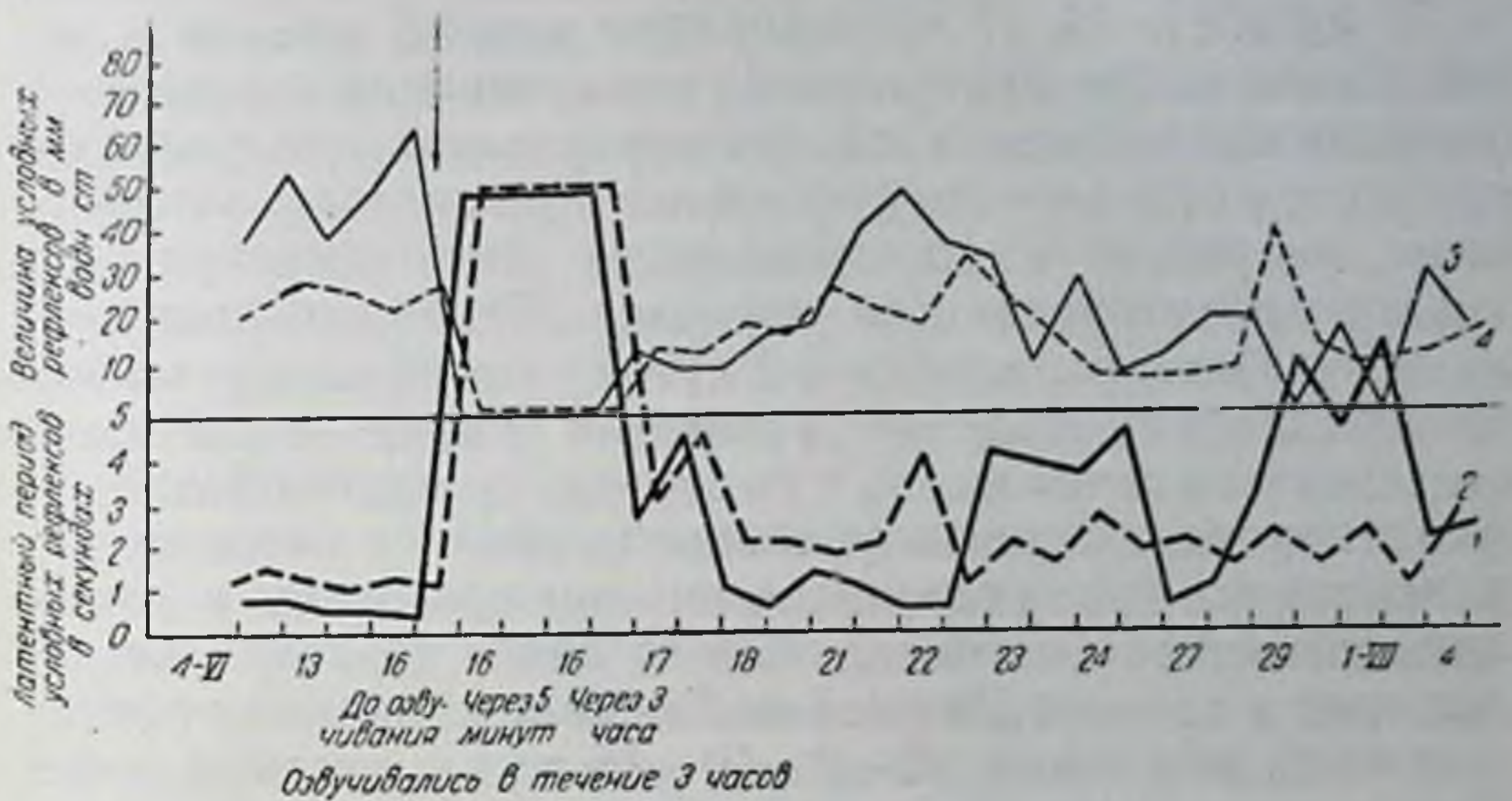


Рис. 20. Изменение условнорефлекторной деятельности белой крысы, озвученной в течение 3 часов. Обозначения те же, что на рис. 18.

натуральные рефлексy. Движения крысы очень вялые, держится парез задних конечностей. При исследовании через сутки условные рефлексy появились. Однако величина их резко понижена. Латентные периоды превышают исходные цифры в 10 раз и более. Дифференцировка расторможена. Имеет место выраженное последовательное торможение, выпадение условного рефлекса на звонок, подаваемый после дифференцировки. До и после применения дифференцировки наблюдаются уравнительные и парадоксальные фазы гипнотического состояния. К 5-му дню после озвучивания показатели латентного периода как будто бы приближаются к исходным цифрам, а с 6—7-го дня условнорефлекторная деятельность вновь резко ухудшается. Латентный период снова резко возрастает. Величина условного рефлекса как на сильный, так и на слабый раздражитель держится на крайне низких цифрах (7—8—5—13—15 мм вместо 40—70—50 мм исходных) с частыми явлениями выпадения условных рефлексов до применения дифференцировки и последовательного торможения в виде выпадения условного рефлекса на звонок, стоящий после дифференцировки. Явления глубокого нарушения условнорефлекторной деятельности наблюдались в течение 37 дней вплоть до прекращения опытов с наступлением жаркой погоды.

У крысы № 17 исследование через 3 минуты и через 3 часа после прекращения озвучивания с 3-часовой экспозицией показало полное торможение как условного, так и натурального рефлексов. Крыса вяла, заторможена, не реагирует на сигналы. Не было никаких признаков ориентировочного рефлекса. Правая задняя лапка не действовала. На 2-е сутки после озвучивания наблюдалось выпадение условного рефлекса на свет, стоящий на втором месте, и на звонок, стоящий после дифференцировки. Уровень условного рефлекса очень низок, развиваются уравнивательная и парадоксальная фазы гипнотического состояния. С 3-го дня и до конца исследований в течение 24 дней наблюдался низкий уровень условных рефлексов (6—8—10—15 мм) с частыми явлениями выпадения их, с резко выраженным последовательным торможением, удлинением латентного периода. С первого же дня озвучивания и до конца опытов наблюдалась нулевая дифференцировка, но здесь, по видимому, не приходится говорить об укреплении дифференцировки, т. е. о внутреннем торможении, а об общем понижении возбудимости центральной нервной системы в результате действия ультразвука. Парез правой задней лапки держался в течение 3 дней после озвучивания.

Крыса № 18 первое время после 3-часового озвучивания находилась в состоянии полного торможения. Через 1 час 45 минут налицо выпадение условного рефлекса на свет, латентные периоды удлинены, силовые отношения нарушены (парадоксальная фаза), уровень силы условных рефлексов понижен, натуральные рефлексy отсутствуют. Двигательная активность снижена. Через сутки условные рефлексy низки, хотя все реакции налицо, имеется парадоксальная фаза гипнотического состояния, дифференцировка расторможена. Со 2-го дня после озвучивания намечается тенденция к повышению условных рефлексов, которая на 3—6-й день выражена более отчетливо: величина условных рефлексов приближается к исходной, но при этом силовые отношения нарушены, дифференцировка расторможена, латентные периоды приближаются к исходным. С 7-го дня вновь наблюдается падение величины условных рефлексов, которое сменяется восстановлением уровня условнорефлекторной деятельности. При этом нарушение силовых

отношений остается вплоть до завершающего исследования в течение 31 дня.

У крысы № 19 до озвучивания наблюдался высокий стабильный уровень условнорефлекторной деятельности, дифференцировка устойчива, редкие случаи растормаживания и неполной дифференцировки. После озвучивания наступило полное торможение всех условных рефлексов и даже натурального рефлекса, кроме первого. Животное с трудом передвигается, парез задних конечностей. Никакой реакции на условные и натуральные раздражители. Через 3 часа 15 минут выпадение условного рефлекса на звонок, налицо очень слабый условный рефлекс на свет (2 и 7), выпадение натуральных рефлексов в 3 случаях. Латентные периоды резко удлинены. На дифференцировочный раздражитель реакции нет. Через сутки уровень условных рефлексов вдвое ниже исходного, латентные периоды удлинены в 2—3 раза, налицо гипнотические фазы — уравнивательная и парадоксальная. С 3-го дня намечается повышение уровня условных рефлексов, почти достигающих к 6—7-му дню исходной величины. Затем они несколько понижаются и с 14-го дня держатся примерно на одном уровне до конца исследований, причем наблюдается удлинение латентного периода преимущественно на свет и в меньшей степени на звонок при наличии фазовых гипнотических состояний, расторможение дифференцировок.

Таким образом, обобщая данные, изложенные в этом разделе, можно заключить, что воздействие ультразвука интенсивностью 115—120 дБ при экспозиции 3 часа является чрезвычайным раздражителем, вызывающим глубокие, длительное время не проходящие функциональные (возможно, органические) нарушения нервной системы белых крыс. Следовательно, ультразвук в примененных параметрах является фактором, вызывающим серьезные функциональные изменения в центральной нервной системе. Степень выраженности этих изменений зависит от дозировки ультраакустической энергии.

Ультразвук относительно малой интенсивности, дозируемая продолжительность действия которого составляет 10—30—60 минут, вызывает идентичные изменения, которые в своем развитии проходят три фазы: фазу угнетения условнорефлекторной деятельности, переходящую во вторую фазу постепенного умеренного повы-

шения уровня условнорефлекторной деятельности и в свою очередь сменяющуюся угнетением последней. Продолжительность и выраженность всех фаз тем сильнее, чем продолжительнее экспозиция.

Ультразвуковое воздействие с экспозицией 10 минут сопровождается легкими нарушениями условнорефлекторной деятельности, выражающимися в первой фазе удлинением латентного периода рефлексов, в отдельных случаях — выпадением условного рефлекса на свет и снижением величины наличных условных рефлексов. Продолжительность первой фазы — в пределах первого часа от момента действия ультразвука. Вторая фаза, наступающая через 1—2 часа после прекращения действия ультразвука, характеризуется повышением уровня условнорефлекторной деятельности, приближающегося к фоновым величинам, и уступает к исходу первых суток третьей фазе продолжительного угнетения условных рефлексов, удерживающейся в течение 5—6—8 суток.

При озвучивании с экспозицией 30—60 минут торможение условных рефлексов в первой фазе выражено резче, чем при 10-минутном озвучивании: имеются выпадения условных рефлексов на звонок, а иногда полное торможение всех условных рефлексов. Наблюдаются более выраженное удлинение латентного периода и более частые случаи развития гипнотических фазовых состояний. Продолжительность первой фазы достигает 1—2—3 суток. Вторая фаза также выражена сильнее, чем при 10-минутном озвучивании. Однако продолжительность ее невелика. Вторая фаза вскоре сменяется третьей—длительным (от 16 до 37 суток) угнетением условнорефлекторной деятельности. Озвучивание с 3-часовой экспозицией вызывает изменение, свойственное непосредственно третьей фазе, минуя первую и вторую фазы. Эти изменения выражаются в выпадении всех условных и натуральных рефлексов при исследовании в первые часы после прекращения озвучивания, в частых выпадениях отдельных условных рефлексов и развитии различных фаз гипнотического состояния в течение месяца и более.

Опыты по изучению условнорефлекторной деятельности белых крыс дали возможность, кроме того, дифференцировать биологическое действие ультразвука и слышимых звуков. Как было сказано выше, спектр коле-

баний нашей установки состоит из неслышимой ультразвуковой и слышимой звуковой части.

По данным А. В. Бару (1962), крысы воспринимают на слух частоты колебаний до 55 кГц. Следовательно, все частоты спектра нашей установки должны быть отнесены к действующим на орган слуха крыс. Таким образом, сдвиги в условных рефлексах у них, описанные выше, зависели как от действия колебаний сирены через орган слуха, так, возможно, и другим путем, например через всю поверхность тела. Нам представилась возможность дифференцировать эти два пути. Для этой цели мы крыс посадили в шар, как и в других случаях. Но сам шар мы повернули отверстием к стене, так что из спектра сирены внутрь шара попадали только звуковые колебания, притом почти без всякого ослабления, в то время как ультразвуковые, для которых характерно свойство давать явление тени, внутрь шара не попадали. Результат озвучивания крыс таким способом в течение часа по сдвигам в условных рефлексах показан на рис. 21. Как видно из этого рисунка, условные рефлекс в этом случае изменялись только на короткий срок после озвучивания, причем сам сдвиг был мал по величине. Воздействие же ультразвука даже в течение 10 минут давало, как видно из рис. 19, более выраженный и более продолжительный сдвиг в условных рефлексах.

Значение этого различия в дальнейшем будет обсуждаться более подробно.

в) Влияние ультразвука на безусловнорефлекторную деятельность белых крыс (по величине скрытого времени). Для оценки влияния ультразвука на нервную систему была использована также методика измерения скрытого времени безусловнорефлекторных оборонительных реакций (С. И. Горшков). Эта методика в настоящее время применяется многими авторами для обнаружения самых разнообразных воздействий на организм. Это связано с тем, что скрытое время является весьма важным показателем рефлекторных актов. Именно в течение скрытого периода складывается характер рефлекторного ответа на то или иное воздействие. Изменение величины скрытого времени указывает на направление течения основных нервных процессов. Здесь можно напомнить, что И. М. Сеченов впервые обнаружил явление торможения в нервной системе именно по удлинению

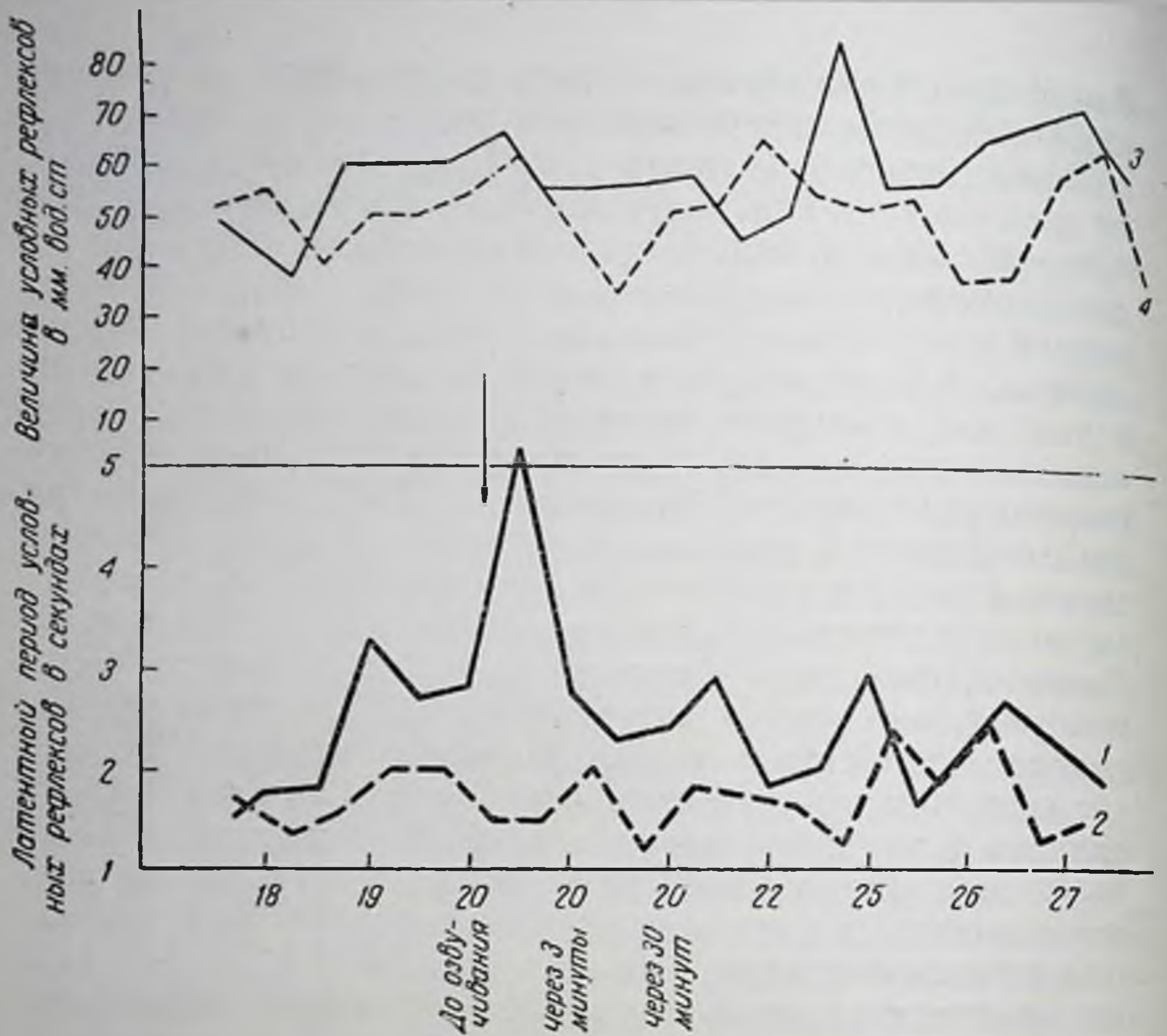


Рис. 21. Изменение условнорефлекторной деятельности белых крыс при воздействии в течение 1 часа только одного шума.

Обозначения те же, что на рис. 19.

скрытого времени кислотного рефлекс, измеряемого по методике Тюрка, а И. П. Павлов процессы иррадиации торможения всегда связывал с удлинением латентного периода реакций, а процессы растормаживания — с укорочением этого периода.

Скрытое время оборонительной реакции у белых крыс измерялось с помощью хронорефлексометра. Озвучивание крыс производилось по методике, описанной выше.

Скрытое время определялось у всех крыс до озвучивания для определения фона, затем сразу, через 30 минут, через 1 и 3 часа после озвучивания и в дальнейшем ежедневно. При каждом исследовании производилось 5—10-кратное измерение скрытого времени, из которых вычислялись средние величины, подвергавшиеся дальнейшей обработке.

Эти исследования свидетельствуют о том, что скрытое время является чувствительным показателем действия ультразвука. Изменение скрытого времени под влиянием ультразвука указывает на то, что он действует именно на центральные образования (в основном на систему синапсов) нервной системы, так как исследованиями ряда авторов (А. А. Ухтомский, Ч. Шеррингтон, В. В. Закусов и др.) было показано, что изменение величины скрытого времени рефлексов зависит в первую очередь от изменения функционального состояния центральных (синаптических) образований. В этом отношении наши результаты совпадают с упомянутыми данными Fry (1951) и других авторов о том, что ультразвук действует преимущественно на центральные образования.

Озвучивание ультразвуком частотой 54 и 28 кгц, интенсивностью 120 дб выявило двухфазную картину динамики скрытого времени и, как видно из рис. 22, двухфазность сдвига заметна и при воздействии ультразвука интенсивностью 110 дб. Характерно, однако, изменение соотношения в выразительности фаз при озвучивании разной продолжительности и интенсивности. Сопоставление кривых 2, 3 и 4 (см. рис. 22) дает возможность увидеть, что первая фаза, соответствующая изменениям, возникающим сразу после озвучивания, зависит при надпороговой дозе в первую очередь от продолжительности озвучивания.

По мере увеличения продолжительности озвучивания выразительность первой фазы изменений скрытого времени становится все очевиднее. Она наибольшая при продолжительности озвучивания 60 минут. Наряду с этим можно заметить, что для первой фазы изменений величины скрытого времени, по нашим данным, намечается переменность их знака. Если при интенсивности озвучивания 120 дб скрытое время сразу после озвучивания увеличивается, то при интенсивности 110 дб в первые моменты после озвучивания скрытое время укорачивается и только затем удлиняется. Это указывает, что и при действии ультразвука остается в силе общий характер связи зависимости изменения функции от силы воздействия, заключающийся в том, что умеренные по силе раздражения активизируют функцию, а большие — угнетают. Начальное укорочение скрытого времени при

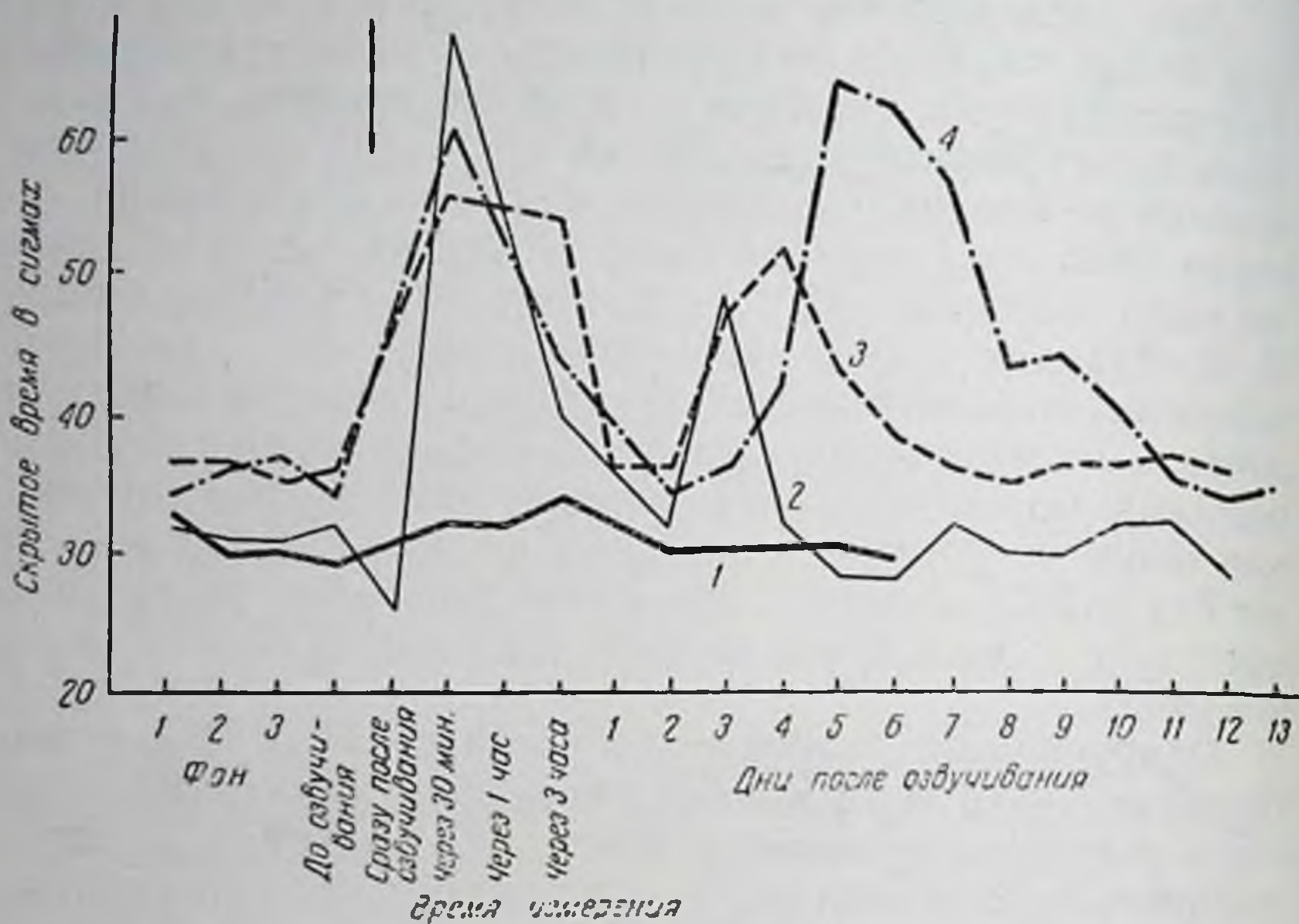


Рис. 22. Характер изменения скрытого времени рефлекс белых крыс при действии ультразвука частотой 54 кгц разной продолжительности и интенсивности.

1 — продолжительность 60 минут, интенсивность 95—100 дб; 2 — продолжительность 60 минут, интенсивность 110 дб; 3 — продолжительность 10 минут, интенсивность 120 дб; 4 — продолжительность 30 минут, интенсивность 120 дб.

интенсивности воздействия ультразвука 110 дб как раз указывает на возникновение стимулирующего действия. Оно отчетливо видно на рис. 23, где показано изменение величины скрытого времени у двух крыс, озвученных при интенсивности 95—100 дб.

Что касается второй фазы изменения величины скрытого времени, то она, как видно из наших данных, зависит как от силы, так и от продолжительности озвучивания. При силе озвучивания 110 дб она выражена весьма слабо.

Из описания характера изменений величины скрытого времени при интенсивности ультразвука 120 и 110 дб видно, что эти интенсивности вызывают вполне очевидные изменения функционального состояния нервной системы. Эти изменения при малых интенсивностях воздействия заключаются в укорочении скрытого времени, т. е. в проявлении стимулирующего действия ультразвука.

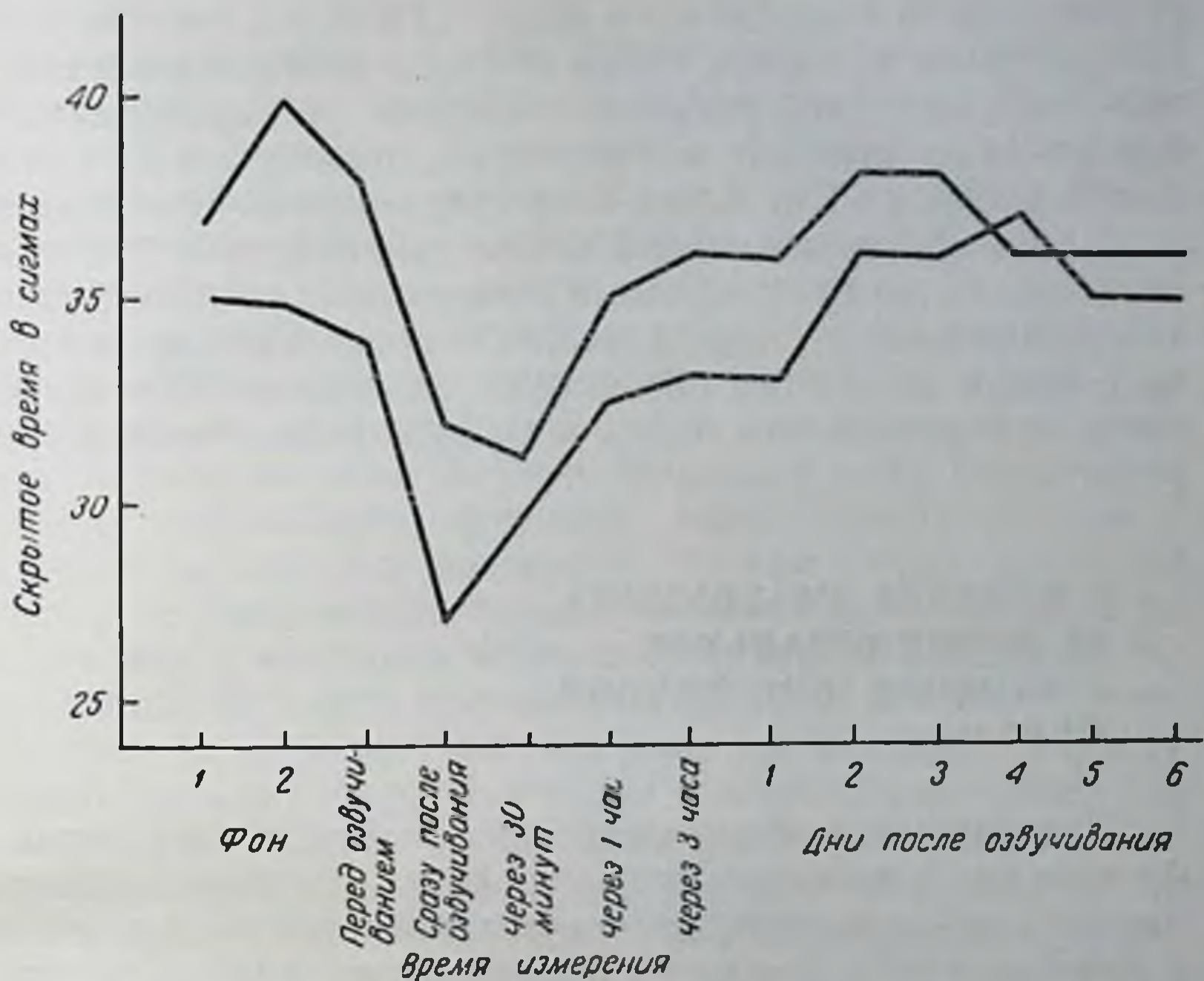


Рис. 23. Укорочение скрытого времени безусловнорефлекторной реакции у крыс после однократного озвучивания.

ка на функции нервной системы. Большие интенсивности ультразвука вызывают, как правило, двухфазное удлинение скрытого времени, т. е. очевидные проявления угнетения функционального состояния нервной системы.

Подытоживая наши данные об изменениях под влиянием ультразвука функционального состояния нервной системы, обнаруженного по данным изменения биотоков коры, а также условно- и безусловнорефлекторной деятельности, мы приходим к выводу, что по всем этим показателям имеются вполне отчетливые изменения в результате воздействия ультразвука. Примененные в опытах интенсивности ультразвука 110—120 дБ вызывают отчетливые фазно протекающие изменения в нервной системе, выражающиеся в ее угнетении.

Представляет интерес вопрос о значении фазности этих изменений. Из того факта, что первая фаза возникает сразу после озвучивания (вернее всего, она возникает уже по ходу озвучивания), можно сделать вывод о

рефлекторной природе этой фазы. О том же говорит и ее краткость во времени. Причиной ее возникновения может быть непосредственное действие ультразвука на центральные нервные образования, полученное в свое время в опытах Fгу, Лупп и их сотрудников. Что касается второй фазы изменений после воздействия ультразвука, то из ее позднего наступления, медленного развития, длительного существования и совпадения по времени с биохимическими обменными сдвигами, описанными ниже, можно сделать вывод о ее физико-химической природе.

2. ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ ЩИТОВИДНОЙ ЖЕЛЕЗЫ

При изучении биологического действия различных физических и химических факторов на человека в первую очередь, как известно, исследуют наименее резистентные к действию этих факторов системы организма. В этой связи представляет большой интерес изучение особенностей действия ультразвука на функцию щитовидной железы. Известно, что гормональная активность щитовидной железы чрезвычайно чувствительна к воздействию различных раздражителей, вызывающих изменения в состоянии центральных нервных аппаратов, на что, например, указывают Zondek и др. Установлено, что в этиологии гипертиреозов большое значение имеют психические расстройства.

Учитывая, что в механизме действия ультразвука, как было показано выше, важное место занимает нарушение функций нервной системы, можно ожидать при этом и изменений в состоянии щитовидной железы. В специальной литературе (Beier, Dögner, 1958; А. Н. Онанов, 1957, и др.), касающейся различных аспектов биологического действия ультразвука, данные об изменении функции щитовидной железы отсутствуют. В то же время в отдельных работах (Bugard, 1958; Conte и Delogenzi, 1940; Woeber, 1950) указывается, что наиболее чувствительна к действию ультразвука нервно-эндокринная система. Bugard показал, что в механизме дей-

ствия ультразвука низкой частоты значительную роль играет изменение системы гипофиз — щитовидная железа — надпочечники. В экспериментальных исследованиях на кроликах он установил повышение эндокринной активности передней доли гипофиза, щитовидной железы и коры надпочечников при воздействии ультразвука через воздушную среду интенсивностью 130 дб при частоте 25 кгц. Щитовидная железа у кроликов проявляет повышенную функцию эпителия и интенсивную резорбцию коллоидов из везикулов. Наряду с этим Bugard наблюдал торможение функции щитовидной железы у морских свинок под влиянием 15-минутного звучания электрического звонка интенсивностью 100—120 дб, в то время как у кроликов интенсивные шумы вызывали активизацию функции щитовидной железы. В связи с этим действие ультразвука на гипофиз, щитовидную железу и надпочечники Bugard относит к неспецифическому его влиянию на организм. Имеются данные о действии на функцию щитовидной железы высокочастотного ультразвука. Так, Чжоу Сяень-хуа (1958) установил изменение йодфиксирующей функции щитовидной железы у кроликов при введении J^{131} в организм методом электрофореза под влиянием местного воздействия в области бедра ультразвука частотой 800 кгц мощностью от 0,17 до 1 вт/см². Этим автором установлено, что изменение функции щитовидной железы зависит от возрастания числа процедур воздействия ультразвуком. Сначала отмечается повышение накопления J^{131} в щитовидной железе, а затем по мере дальнейшего возрастания числа процедур (свыше четырех) — снижение.

Sikardo, Carpelino и Conte (1951) обнаружили при высокой интенсивности ультразвука такой же частоты (10—20 вт/см²) у 2-недельных морских свинок в щитовидной железе явление атрофии железистого эпителия и образование крупных фолликулов, наполненных густым коллоидным веществом. Вместе с этим наблюдалось отставание в росте озвученных животных. Несмотря на немногочисленность данных о влиянии ультразвука на функцию щитовидной железы, полученные результаты позволяют судить о значительной чувствительности этого органа.

С целью более подробного исследования состояния функций щитовидной железы в нашей лаборатории были

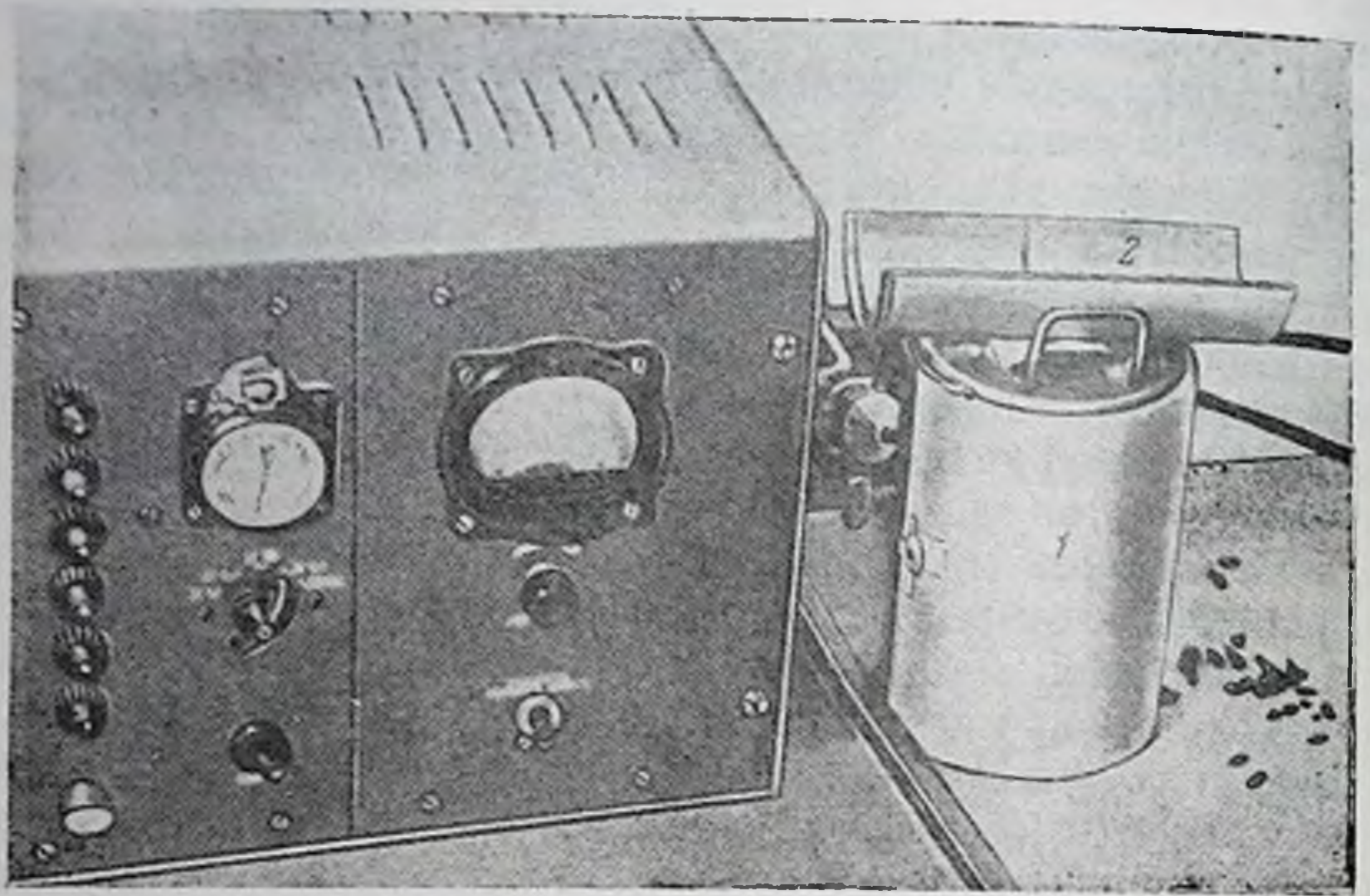


Рис. 24. Вид свинцового домика (1) с фиксиционным станком для крыс (2). В центре станка отверстие к входному окошку счетчика.

проведены О. Н. Горбуновым опыты на животных, подвергавшихся воздействию низкочастотного ультразвука. В качестве показателя функции железы оценивалась ее йодфиксирующая способность по отношению к радиоактивному йоду. Для того чтобы уловить наличие фазных изменений после облучения, йодфиксирующая функция изучалась при введении J^{131} сразу после озвучивания, на 4-й и 15-й день, а также через 2 месяца. Радиоактивный йод вводился внутрижелудочно в виде водного раствора NaJ без носителя в количестве 1 мл общей активностью 1—2 мккюри на каждое животное. После введения радиоактивного йода производили измерения γ -излучения от щитовидной железы крыс в течение 2 суток через 2, 4, 8, 12, 16, 20, 24, 36 и 48 часов. Измерение γ -излучения от щитовидной железы осуществлялось с помощью экранированного в свинцовом домике счетчика Т-25-БФЛ к установке «Б». Область щитовидной железы животных прикладывали к отверстию коллиматора диаметром 8 мм и длиной 30 мм. Коллиматор служил для направленного измерения γ -излучения от щитовидной железы. Общий вид установки представлен на рис. 24.

Результаты измерения γ -излучения от щитовидной железы, полученные в имп/сек, выражали в процентах от введенной дозы. О функции щитовидной железы судили по величине максимального накопления в ней J^{131} , а также по характеру его накопления и выведения.

В результате проведенных исследований установлено, что озвучивание крыс ультразвуком интенсивностью 112 и 125 дб при частоте 54 кгц в течение часа вызывало у них заметное изменение йодфиксирующей функции щитовидной железы. Эти изменения резко выражены в первые сутки после озвучивания. В этот период наблюдалось торможение накопления J^{131} в щитовидной железе. В первые 4—16 часов содержание J^{131} в щитовидной железе было в 2,7—3,3 раза ниже, чем в контроле. Характер фиксации йода у животных, подвергнутых воздействию ультразвука указанных интенсивностей, весьма сходен между собой и резко отличается от контроля. У крыс, подвергнутых озвучиванию ультразвуком интенсивностью 125 дб, торможение накопления J^{131} в первые часы было выражено резче, чем после озвучивания интенсивностью 112 дб (рис. 25).

В последующий период, на 4-й и 15-й день после озвучивания интенсивностью 112 и 125 дб, также наблю-

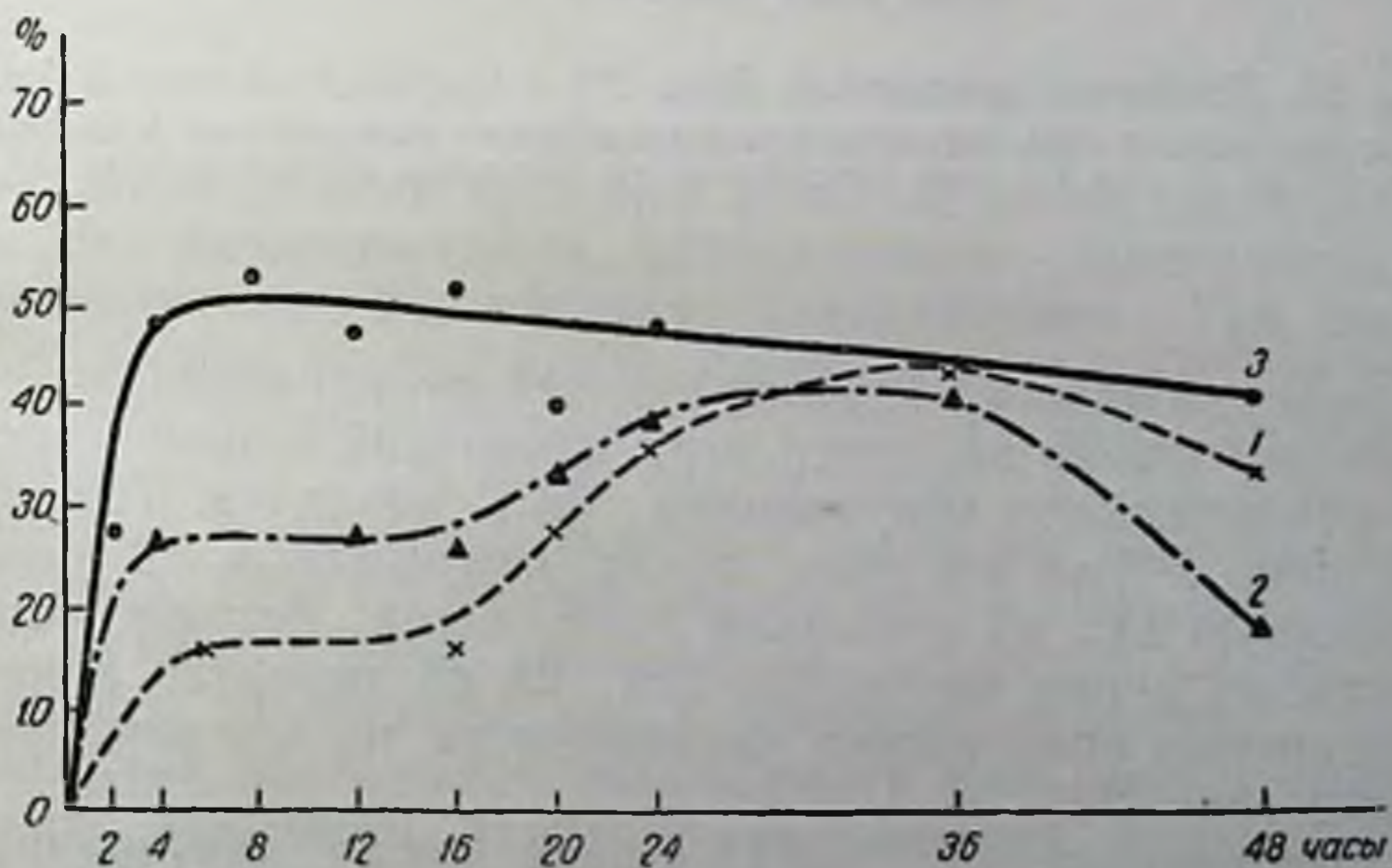


Рис. 25. Динамика накопления йода-131 в щитовидной железе крыс в 1-й день воздействия ультразвуком 54 кгц.

1 — при интенсивности ультразвука 125 дб; 2 — при интенсивности 112 дб; 3 — контроль.

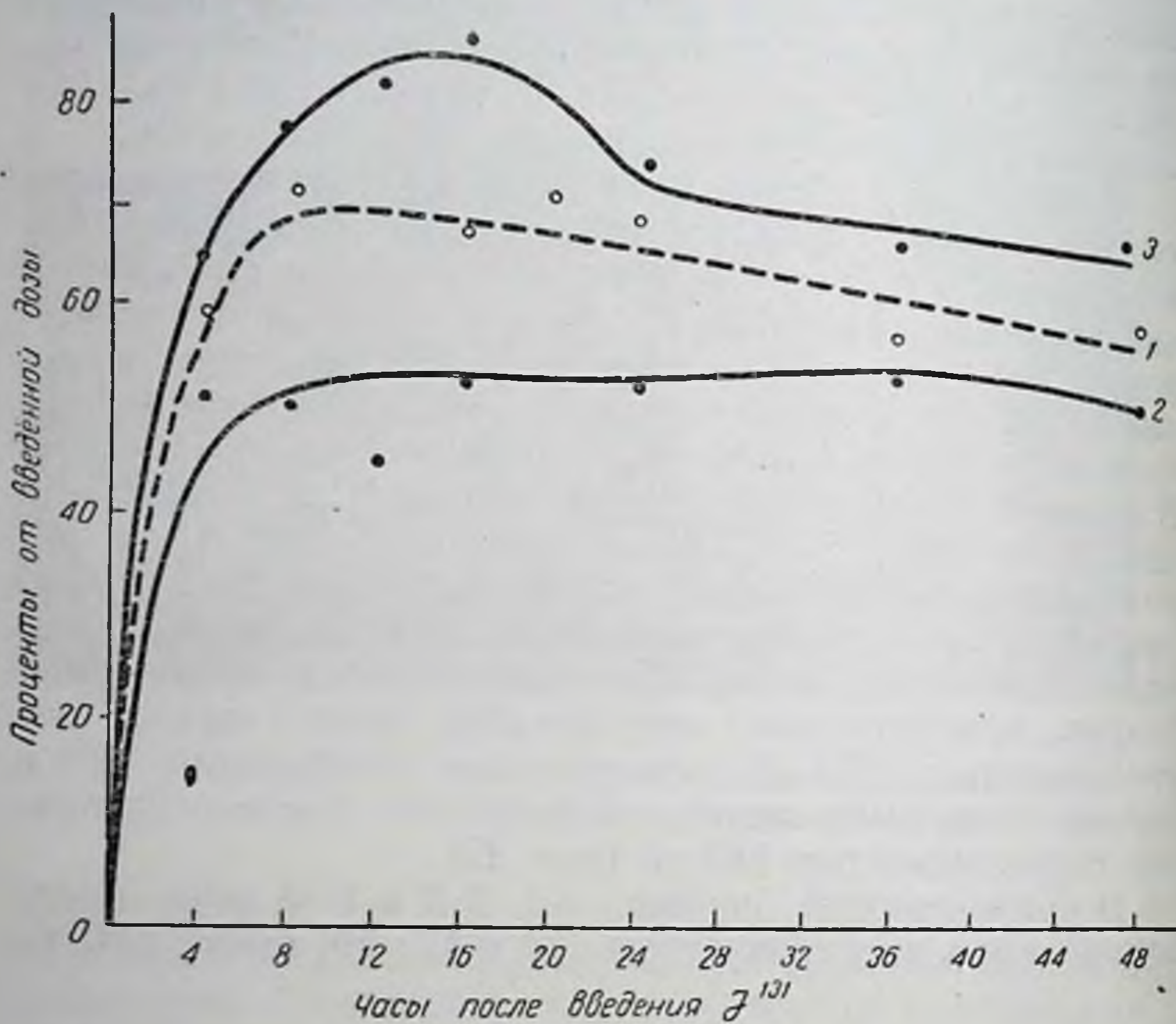


Рис. 26. Динамика накопления йода-131 в щитовидной железе крыс. 1 — в контроле; 2 — на 4-й день после воздействия ультразвуком интенсивностью 112 дБ; 3 — на 4-й день воздействия ультразвуком интенсивностью 125 дБ.

дались изменения йодфиксирующей функции щитовидной железы, однако характер этих изменений в зависимости от интенсивности озвучивания был различен. Так, при введении J^{131} на 4-й день после озвучивания УЗ интенсивностью 112 дБ фиксация йода была больше, чем в контроле, а при интенсивности 125 дБ характер кривой накопления йода скорее указывает на торможение фиксации (рис. 26).

При введении J^{131} на 15-й день после озвучивания, наоборот, отмечаются изменения в первом случае, указывающие на торможение йодфиксирующей функции (максимум в 1,4 раза ниже, чем в контроле), а во втором — на ее усиление (высокий уровень максимального накопления и ускоренное выведение J^{131}) (рис. 27).

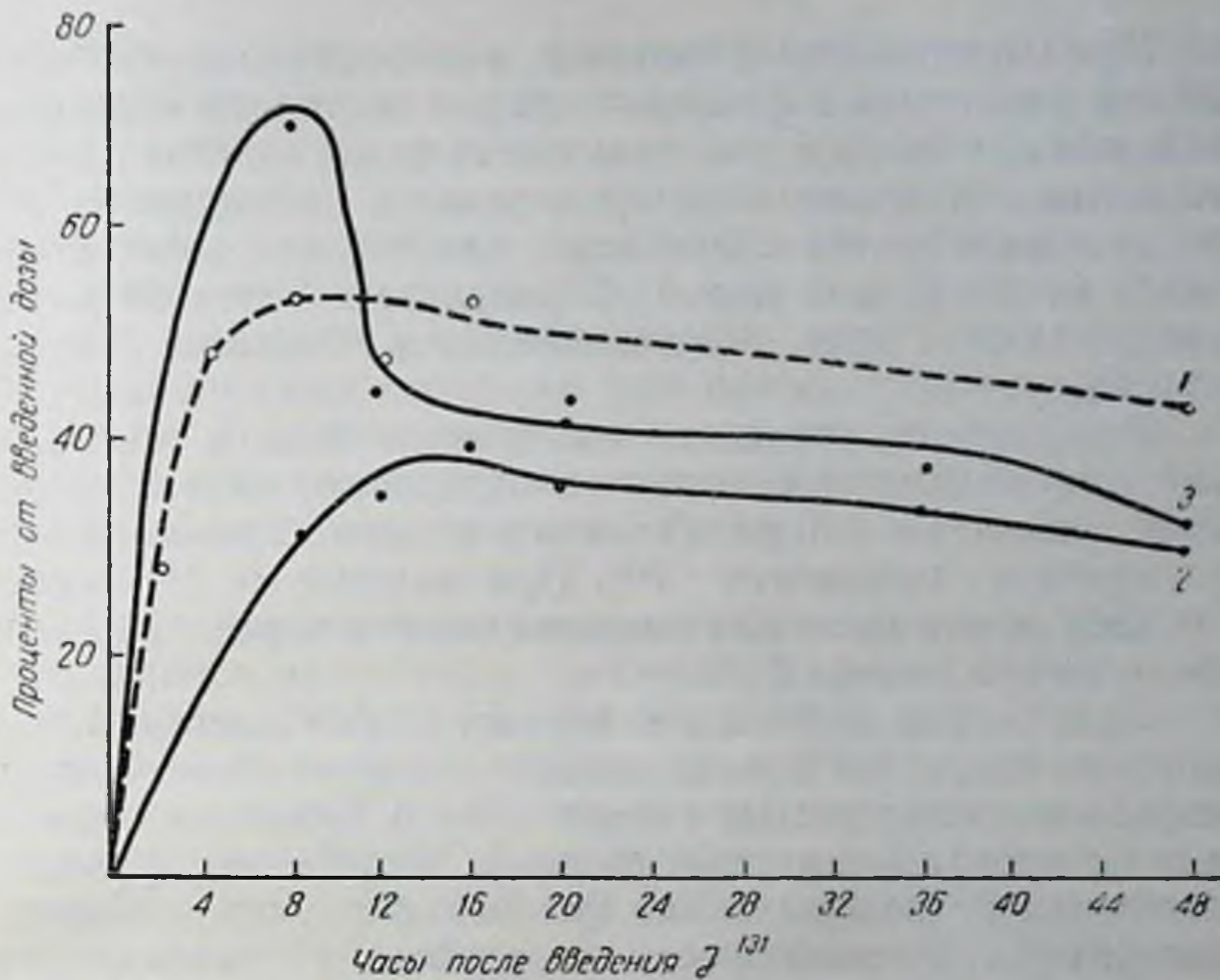


Рис. 27. Динамика накопления йода-131 в щитовидной железе белых крыс.

1 — контроль; 2 и 3 — на 115-й день после воздействия ультразвуком интенсивностью 112 дБ (2) и 125 дБ (3).

Таким образом, наблюдалась фазность в характере изменений йодфиксирующей функции щитовидной железы. Эта фазность имела определенную зависимость от интенсивности воздействия ультразвуком. Так, после озвучивания ультразвуком интенсивностью 125 дБ торможение йодфиксирующей способности наблюдали при введении J^{131} сразу после озвучивания и на 4-й день. На 15-й день у животных отмечено некоторое усиление этой функции. При облучении ультразвуком интенсивностью 112 дБ первая фаза торможения йодфиксирующей способности, отмеченная, как в предыдущем случае, в первые сутки после озвучивания, уже к 4-му дню сменяется фазой заметного усиления поглощения йода, а через 15 дней у животных вновь обнаружено некоторое ослабление йодфиксирующей способности щитовидной железы. При озвучивании с интенсивностью 95—100 дБ изменений в щитовидной железе не установлено.

При озвучивании животных ультразвуком частотой 28 кгц изменения в функциональном состоянии щитовидной железы были выражены менее заметно. Они характеризовались в основном ускоренным выведением J^{131} после достижения к 8 часам максимума накопления (49% от введенной дозы). В результате через 48 часов содержание йода составляло в железе только 25%.

Выраженное угнетение накопления йода в щитовидной железе отмечалось при воздействии ультразвуком интенсивностью 140 дб. Однако и в этом случае имелось ускоренное выведение J^{131} . При максимуме 81% через 24 часа после введения содержание его через 48 часов было равно только 33%.

Полученные результаты подтверждают данные исследования Bugard о том, что общее озвучивание ультразвуком интенсивностью свыше 110 дб вызывает изменение функции щитовидной железы. Изменения функции щитовидной железы носят фазный характер, который зависит от интенсивности воздействия ультразвука. Изменения в функции щитовидной железы сохраняются в течение 15 дней. В связи с этим возникает необходимость проведения исследований функции щитовидной железы в более поздние сроки после воздействия ультразвука.

3. ДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ СОСТАВ ПЕРИФЕРИЧЕСКОЙ КРОВИ

Ультразвук вызывает значительные изменения в крови и кроветворных органах (М. Д. Гуревич, М. Ф. Сиротина, 1960; М. Ф. Сиротина, 1960, 1961; Л. Фридман, А. Н. Онанов, 1957; И. Е. Эльпинер, Ю. А. Кригер, С. З. Добрина, 1962; Н. Д. Эристави, Г. Е. Георгадзе, Е. Ш. Кигурадзе, Л. Ц. Ахметели, 1955, и др.).

Изучение действия ультразвука на эритроциты *in vitro* показало, что наблюдается изменение формы эритроцитов, уменьшение их диаметра и удлинение их (Cerny, Liechti, Wilbrandt, 1942; А. Н. Онанов, 1957, и др.). Отмечалось, что в поле высокочастотных ультразвуковых волн осмотическая стойкость эритроцитов сни-

жается, а в результате достаточно сильного воздействия происходит их распад на множество отдельных маленьких шариков. Изучение поглощения ультразвука кровью, обусловленного неповрежденными кровяными тельцами, показало, что, помимо молекулярного поглощения, связанного с наличием протеина в кровяных тельцах, происходит дополнительное поглощение. Его механизм обусловлен вязкими потерями при относительном движении плазмы. Действие ультразвука на эозинофилы, наблюдаемое в микроскоп, выражалось в активном движении гранул, прекращающемся после выключения излучателя.

Изучение действия ультразвука на кровь *in vivo* производилось на собаках, кроликах, морских свинках, мышах (Jung, 1942; А. Н. Онанов, 1957, и др.). Эти работы устанавливают влияние высокочастотного ультразвука на качественный и количественный состав крови. Анализ данных литературы затрудняется разнообразием полученных результатов. Авторами отмечался лейкоцитоз с нейтрофилией, сменяющийся лейкопенией. Наблюдающаяся при этом эозинопения переходит в эозинофилию. Аналогичные изменения выявляются при клиническом обследовании персонала, обслуживающего реактивные самолеты, являющиеся источником ультразвука (Grognot, 1953).

Исследование крови, проведенное при лечебном применении ультразвука, показало следующие изменения в морфологической картине крови: в миелоидном ряду наблюдалось появление незрелых форм вплоть до миелоцитов и отдельных миелобластов, а в лимфоидном ряду — лимфобластов и молодых лимфоцитов.

Для выяснения изменений, вызываемых действием ультразвука в морфологическом составе периферической крови, в нашей лаборатории (опыты И. П. Левшиной) подопытными животными были выбраны белые крысы. Отбирались животные одного пола, возраста, веса. В каждой серии озвучивалось по 6 крыс при таком же контроле. В течение 3—4 недель у всех подопытных животных определялся фон по следующим показателям: процент содержания гемоглобина, количество эритроцитов и лейкоцитов (они подсчитывались в камере Горяева), лейкоцитарная формула. У некоторых животных определялась резистентность эритроцитов (метод Линбе-

на и Рибьера), подсчитывалось количество тромбоцитов (метод Фонио).

В день озвучивания кровь брали перед ним, затем сразу после озвучивания и через 1 и 3 часа. В дальнейшем животных исследовали соответственно ходу изменений и восстановления: сначала ежедневно, потом со все большими перерывами. Длительность и частота исследований целиком обуславливалась скоростью восстановительных реакций. Параллельно велись наблюдения за контрольными группами животных.

В результате исследований были получены такие данные. При 10-минутном озвучивании интенсивностью ультразвука 110 дб серьезных изменений в картине крови не наблюдалось. Количество эритроцитов колебалось в пределах нормы, без изменения содержания гемоглобина. Можно отметить некоторый лейкоцитоз за счет абсолютного увеличения лимфоцитов и нейтрофилов. Восстановление происходило на 5—6-й день после озвучивания.

Более серьезные изменения вызывало 30-минутное озвучивание при той же интенсивности ультразвука (рис. 29). Количество эритроцитов уменьшается, их гиперхромность увеличивается. Число лейкоцитов в первые часы после озвучивания несколько возрастает за счет увеличения абсолютного количества нейтрофилов и отчасти лимфоцитов. Дальнейшее падение содержания лейкоцитов (у некоторых крыс до $\frac{1}{3}$ исходного) происходит в результате абсолютного снижения числа лимфоцитов. Восстановление происходит к концу 2-й недели после озвучивания. На рис. 28 приводятся данные для всех подопытных животных. Так как моменты подъема и спада кривых у разных животных не совпадают во времени, что смазывает картину, то на рис. 29 приводится индивидуальный график крысы № 4, на котором подъем количества лейкоцитов сразу после озвучивания отчетливо заметен.

При 10- и 30-минутном озвучивании ультразвуком указанной мощности резких изменений в морфологии крови не наблюдалось; можно отметить появление редких полихроматофильных эритроцитов, полисегментированных нейтрофилов и отдельных двухъядерных лимфоцитов.

Увеличение мощности ультразвука ведет к более серьезным изменениям морфологического состава пери-

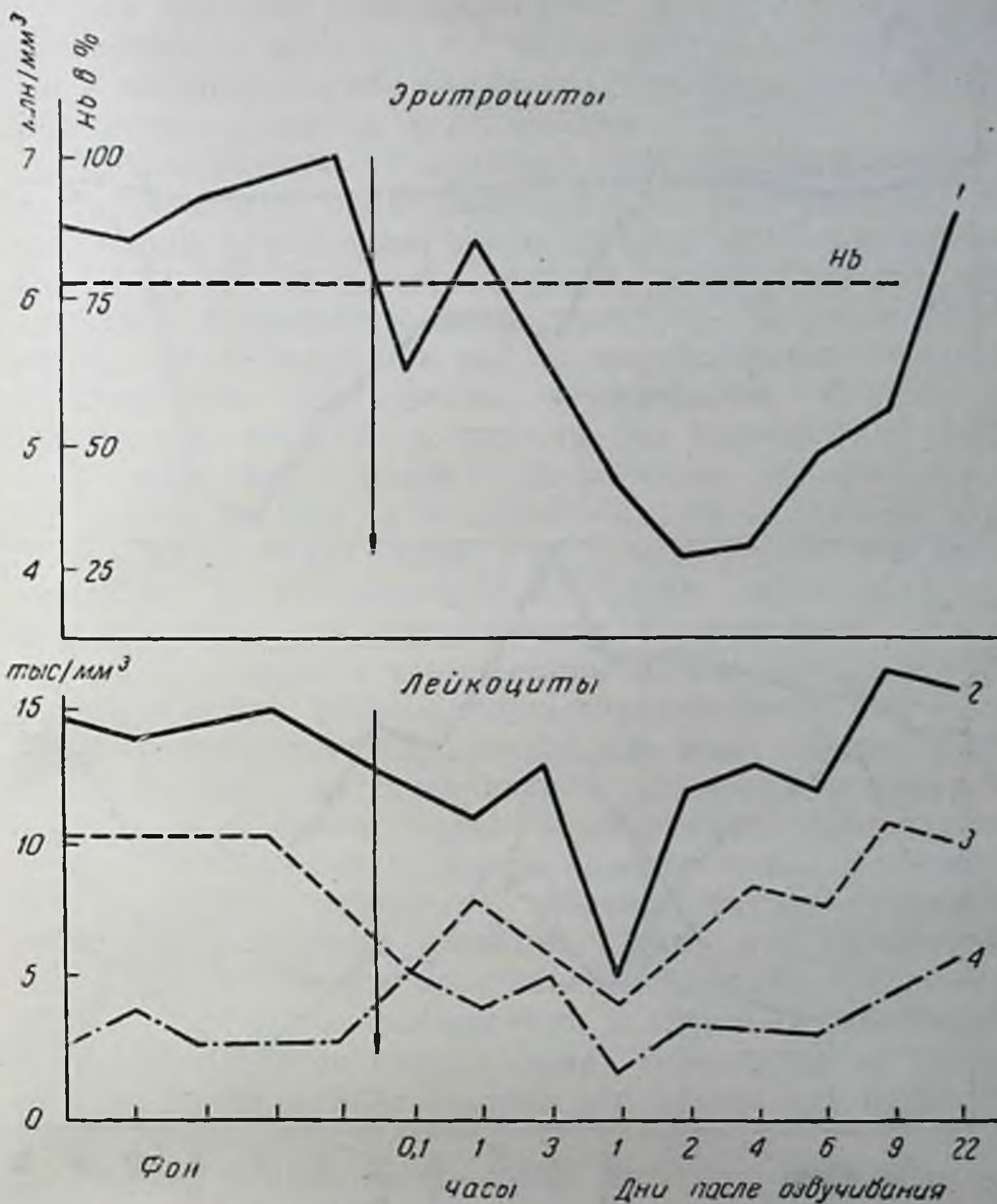


Рис. 28. Сдвиги в морфологическом составе периферической крови белых крыс (средние данные) после 30-минутного воздействия ультразвуком (частота 54 кгц, интенсивность 110 дб).

1 — количество эритроцитов; Hb — процент гемоглобина; 2 — общее количество лейкоцитов; 3 — лимфоциты; 4 — нейтрофилы.

ферической крови. При одночасовом озвучивании интенсивностью 120 дб количество эритроцитов уменьшается до 30% исходного с нарастанием гиперхромности. Количество лейкоцитов снижается за счет падения абсолютного количества лимфоцитов и в меньшей степени — нейтрофилов. Восстановление происходит к концу 3-й недели после озвучивания.

$\frac{\text{млн}}{\text{мм}^3}$ НВ 8%

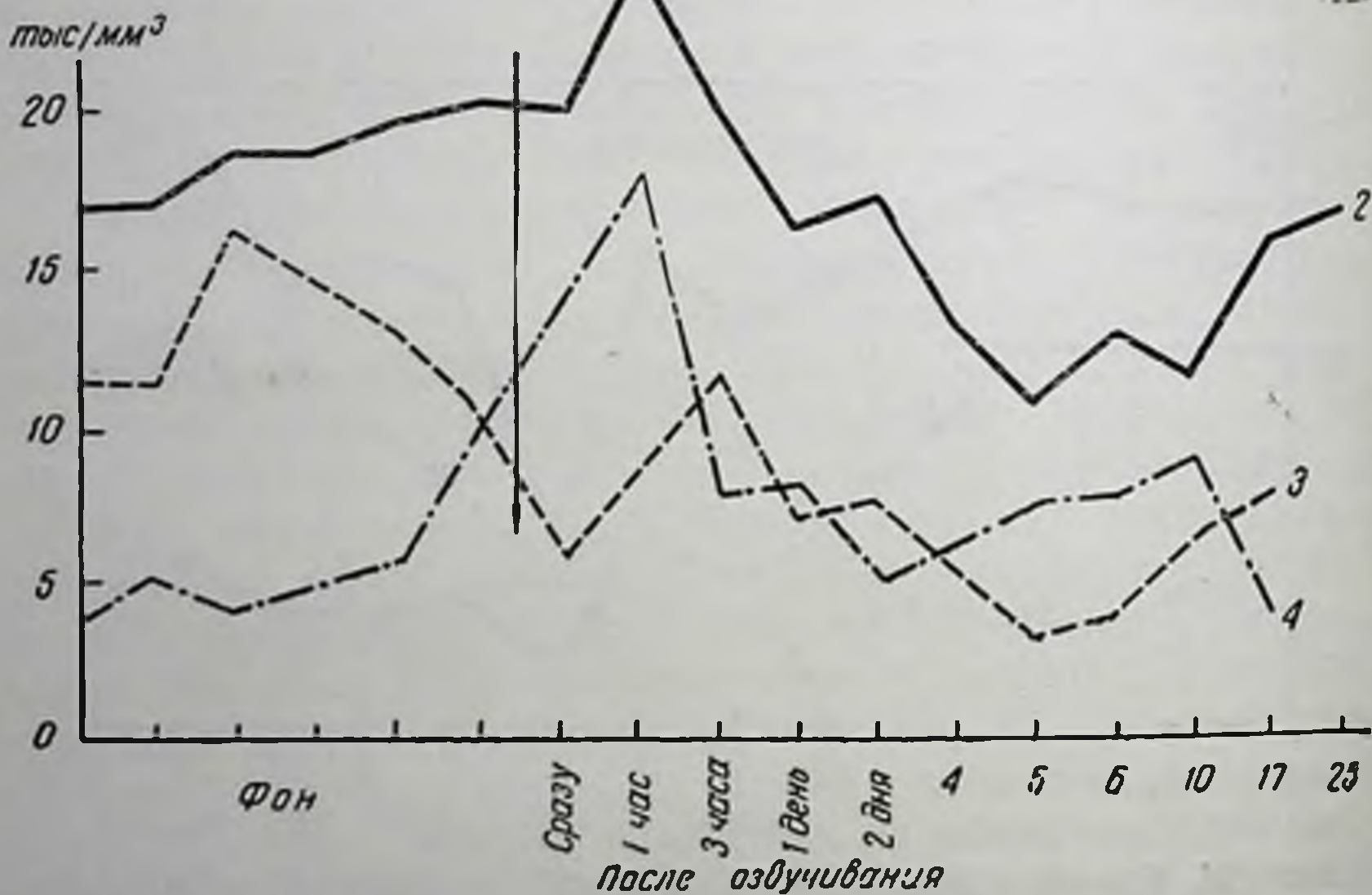
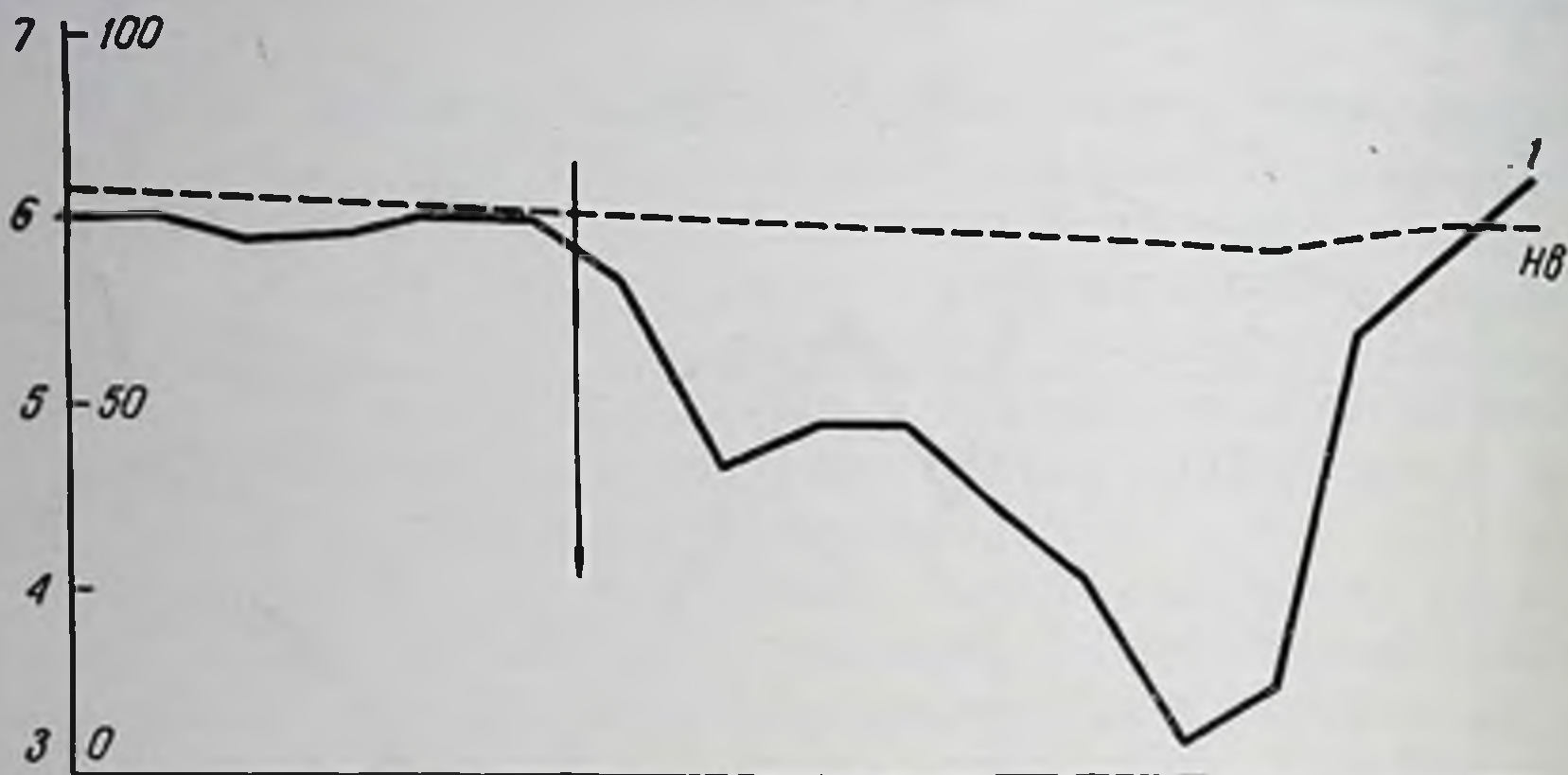


Рис. 29. Сдвиги в морфологическом составе периферической крови крысы № 4 после 30-минутного воздействия ультразвуком (частота 54 кгц, интенсивность 110 дб). Обозначения те же, что на рис. 29.

Трехчасовое озвучивание вызывает уменьшение количества эритроцитов, достигающее у некоторых крыс до 50% от исходного уровня. В периферической крови обнаруживаются изредка молодые (ядерные) формы эритроцитов. За счет абсолютного уменьшения лимфоцитов происходит снижение количества лейкоцитов. Восстановление продолжается около месяца.

При подсчете лейкоцитарной формулы животных, озвученных в течение 1 и 3 часов, было отмечено появление в периферической крови молодых форм эритроцитов, лейкоцитов и клеток раздражения.

Можно указать на реакцию эозинофилов при разной интенсивности и продолжительности озвучивания. Исследование крови сразу после 10-минутного озвучивания показало, что из периферической крови исчезают эозинофилы и появляются лишь спустя 12—36 часов. 30-минутное озвучивание при той же интенсивности не вызвало изменения содержания эозинофилов. Воздействие ультразвука большой мощности при одночасовой экспозиции животных привело к увеличению содержания эозинофилов до 12%, а трехчасовое озвучивание не отразилось на их содержании, хотя в периферической крови появились их молодые формы. Таким образом, в этих исследованиях мы сталкиваемся с довольно сложной картиной изменений в морфологическом составе периферической крови, возникающих под действием ультразвука. В этой картине следует прежде всего обратить внимание на зависимость характера изменений от интенсивности и продолжительности озвучивания. Сопоставляя данные наших опытов, можно сделать вывод о постепенном нарастании изменений. Можно также отметить и изменение характера реакции. Так, при 10-минутном озвучивании сначала наблюдается картина увеличения общего количества лейкоцитов, а затем их уменьшение, а при 30-минутном первая фаза лейкоцитов не улавливается. То же можно сказать и в отношении отдельных видов лейкоцитов.

Наряду с этим необходимо отметить, что сроки возникновения тех или иных изменений в составе крови неодинаковы. Часть из них возникает сразу после озвучивания и затем быстро исчезает, другие, возникнув спустя некоторое время после озвучивания, затем остаются на длительный срок. Первые изменения, по-видимому, необходимо трактовать как результат перераспределения форменных элементов крови в сосудистом русле, вторые — как результат гибели их и последующей регенерации.

Большой интерес представляют изменения в красной крови. При озвучивании продолжительностью 30 минут (110 дб) и 1 и 3 часа (120 дб) число эритроцитов крови

начинает постепенно уменьшаться. При этом парадоксально, что количество гемоглобина в крови остается почти без изменений, указывая на нарастание гиперхромности эритроцитов. Аналогичные изменения в эритроцитах отмечались другими авторами под влиянием радиоактивных излучений. Такие данные приводили, например, Б. А. Кривоглаз, Г. Г. Лысина и А. А. Модель (1960) из Киевского института гигиены труда и профзаболеваний, изучавшие ранние симптомы воздействия ионизирующих излучений у людей, подвергавшихся их действию.

Тот факт, что лейкопения, возникающая под действием ультразвука, происходит за счет уменьшения лимфоцитов, роднит сдвиги в крови под влиянием радиоактивных излучений и ультразвука. На наш взгляд, это очень любопытный факт, свидетельствующий, вероятно, не только о внешней аналогии.

4. ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА ТЕРМОРЕГУЛЯЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ

Выше уже сообщались данные о том, что при воздействии на организм высокочастотного ультразвука наблюдается повышение температуры.

Мы исследовали теплообразование под влиянием низкочастотного ультразвукового облучения, причем оценивали как местное действие ультразвука, проявляющееся в термическом эффекте в тканях, так и сдвиги в процессах терморегуляции (С. И. Горшков, П. И. Гумер).

Была поставлена серия опытов, при которых крысы находились на расстоянии 20, 40 и 60 см от излучателя низкочастотного ультразвука, внутри описанного выше шара и вне его. Было выяснено, что сам звук, сопровождающий генерацию ультразвука, вызывал повышение теплоотдачи, но в пределах 10—12 ккал/час.м², в то время как в части опытов при воздействии ультразвука теплоотдача повышалась на 20—30 и даже 50 ккал/час.м² (табл. 8).

Как видно из табл. 8, теплоотдача увеличивается после озвучивания в среднем на 25,5%. По данным Р. М. Ни-

ИЗМЕНЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ КОЖИ И ТЕПЛООТДАЧИ
У КРЫС ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УЛЬТРАЗВУКА

№ крысы	Температура кожи, С°			Теплоотдача в ккал/час м ²		
	до	после	сдвиг в гра- дусах	до	после	сдвиг в про- центах
	озвучивания			озвучивания		
1	31,9	32,2	+0,3	93,0	125,2	+34
2	31,6	33,3	+1,7	87,7	97,7	+11
3	30,6	32,2	+1,6	73,6	97,6	+32
4	31,2	31,9	+0,7	63,7	76,7	+20
5	27,9	29,0	+2,1	105,4	129,5	+23
6	30,3	30,9	+0,6	96,3	128,4	+33

кольской (1965), именно на столько же процентов увеличивается потребление кислорода мозгом животных после озвучивания, что и является указанием на повышение обмена веществ и причиной избыточного теплообразования.

В наблюдениях на людях, обслуживающих низкочастотные ультразвуковые установки на производстве, также были получены данные о повышении температуры кожи и тела под влиянием ультразвука (подробнее см. гл. VII).

Возникает вопрос о причинах этого теплообразования. Как видно из рис. 5, теплообразование может происходить как за счет превращения энергии ультразвука в тепловую энергию, так и за счет повышения химической терморегуляции, т. е. повышения интенсивности обменных процессов. Результатом воздействия и является дополнительное повышение температуры после озвучивания.

Удельный вес этих двух видов теплообразования неодинаков при разных частотах действующего ультразвука. При высокочастотном ультразвуке, действующем локально и в силу этого применяемого в больших дозах (в опыте на рис. 5 — 4 Вт/см², что соответствует 160—170 дБ низкочастотного ультразвука), вся энергия поглощаемого ультразвука превращается в такое количество тепла, которого достаточно (см. табл. 5 и рис. 5) для заметного нагревания озвучиваемого объекта. При

применении низкочастотного ультразвука, действующего диффузно, в условиях лабораторного эксперимента используется ультразвук интенсивностью 100—120 дб, мощность которого составляет всего лишь от 0,00001 до 0,0001 вт/см². Если учесть, что при этом поглощается не вся эта мощность, а только ее небольшая часть (в силу отражения большей ее части от озвучиваемой поверхности), то можно прийти к выводу, что возникающее при этом теплообразование объяснить превращением энергии ультразвука в тепло невозможно.

Повидимому, наблюдаемое повышение температуры связано с рефлекторным повышением теплообразования за счет повышения интенсивности обменных процессов. Такое предположение подтверждается приведенными ниже материалами Р. М. Никольской: повышение уровня тканевого дыхания, увеличение количества кислорода, поглощаемого целым животным, понижение уровня сахара в крови и повышение содержания продукта его распада — пировиноградной кислоты, наблюдаемые при воздействии на животных низкочастотного ультразвука, указывают на повышение интенсивности обмена веществ.

5. ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА БИОХИМИЧЕСКИЕ ПОКАЗАТЕЛИ

В литературе имеются указания, что при воздействии высокочастотного ультразвука наблюдаются изменения некоторых биохимических показателей. Так, обнаруживается нарушение белкового обмена, заключающееся в уменьшении общего количества белков сыворотки крови и в сдвигах во взаимоотношении отдельных белковых фракций, что указывает на изменение структуры белковой молекулы (Bejde, 1950; Stuhlfauth, 1950). При озвучивании селезенки или печени наблюдается уменьшение содержания белков в сыворотке крови (Hagikawa, 1936). Отмечаются изменения в углеводном обмене, проявляющиеся в снижении содержания сахара в крови и увеличении пировиноградной кислоты сразу после озвучивания с последующим восстановлением к исходному уровню (Tillich, 1952). Происходит изменение промежуточного углеводного обмена в печени (Tsuge, 1938).

Озвучивание вызывает нарушение пигментной функции печени, что выражается увеличением содержания в крови связанного билирубина (Stuhlfauth, 1950). Имеется указание, что воздействие ультразвука снижает активность некоторых ферментов, в частности активность каталазы крови (Sibuya, 1936).

У животных, подвергавшихся действию ультразвука, выявлено изменение тканевого дыхания печени, селезенки, почек и крови (Owada, 1926; Lehman, Vorschutz, 1950).

Приведенные данные литературы указывают на изменение интенсивности обмена веществ под влиянием ультразвука. Это согласуется с результатами физиологических исследований (С. И. Горшков) о том, что у крыс и кроликов, подвергавшихся воздействию низкочастотного ультразвука, обнаружено повышение температуры тела и кожи, в связи с чем повышается отдача тепла с поверхности тела.

З. С. Лисичкина приводит данные о том, что у рабочих, обслуживающих ультразвуковые установки, к концу работы также обнаруживаются случаи повышения температуры тела и кожи. Мы (О. Н. Горбунов) уже отметили повышение функции щитовидной железы под воздействием низкочастотного ультразвука. Все эти данные подкрепляют представление о возможности изменений уровня обмена веществ у животных, подвергавшихся воздействию ультразвука.

В связи с этим Р. М. Никольской был исследован ряд биохимических показателей обмена веществ у животных, подвергавшихся действию низкочастотного (54 и 28 кгц) ультразвука. К этим показателям относятся тканевое дыхание мозга и печени, резервная щелочность крови, содержание общего белка, белковых фракций, кальция, сульфгидрильных групп, нуклеиновых кислот, уровня сахара и пировиноградной кислоты в крови, уровня поглощения кислорода целым животным.

Оказалось, что в уровнях белка сыворотки, сульфгидрильных групп и нуклеиновых кислот при всех интенсивностях воздействия ультразвука не обнаружилось заметных сдвигов. Что касается белковых фракций, то при воздействии ультразвука в них обнаружилось количественно небольшое перераспределение (табл. 9).

СОДЕРЖАНИЕ ОБЩЕГО БЕЛКА И БЕЛКОВЫХ ФРАКЦИЙ

Дата	Кролик № 1						Кро					
	альбу- мины в %	глобулины в %			сумма глобу- линов	об- щий бе- лок	альбу- мины, глобу- лины	альбу- мины в %	глобулины в %			
		α	β	γ					α	β	γ	
						Фон						
11/VI	64,80	13,09	8,73	13,37	35,19	6,42	1,84	68,18	13,22	8,89	9,62	
15/VI	67,24	13,53	9,32	9,89	32,74	6,42	2,05	68,00	11,71	9,76	10,52	
23/VI	69,79	10,38	8,88	10,90	30,16	6,42	2,31	70,38	11,85	10,65	7,10	

Озвучивание ультразвуком ча
135 дб в те

2/VII	66,89	8,96	12,64	11,49	33,09	6,61	2,02	68,44	13,03	10,56	7,95
3/VII	67,42	14,03	10,64	7,88	32,55	6,56	2,07	66,51	12,56	8,86	12,04
4/VII	71,15	12,17	8,33	8,33	28,83	6,42	2,46	68,04	11,65	8,27	12,02
5/VII	68,76	12,96	11,11	7,16	31,23	6,42	2,20	66,36	9,75	11,90	11,97
6/VII	66,92	10,05	14,37	8,85	33,00	6,42	2,02	67,17	7,65	14,13	11,00
7/VII	60,98	15,55	12,41	11,05	39,01	6,12	1,56	60,40	14,66	11,01	13,66
9/VII	67,53	13,35	8,41	10,69	32,45	6,42	2,08	64,16	13,13	7,87	14,82
10/VII	73,31	11,78	9,30	5,57	26,65	6,52	2,75	73,30	12,36	8,14	6,18
11/VII	71,04	12,99	10,14	5,81	28,94	6,42	2,45	—	—	—	—
12/VII	72,50	8,15	12,68	6,64	27,47	6,12	2,63	71,45	7,18	11,24	10,11
14/VII	65,95	9,81	14,07	9,25	34,03	6,12	1,92	66,19	9,60	11,62	12,57
17/VII	70,70	10,65	11,98	6,65	29,28	6,12	2,41	68,51	7,76	12,87	10,85

Что касается уровня поглощения кислорода на целом животном, тканевого дыхания мозга и печени, щелочного резерва пировиноградной кислоты и кальция сыворотки, то обнаружено увеличение всех этих биохимических показателей обмена веществ под влиянием воздействия ультразвука. И только в отношении уровня сахара крови обнаруживалось его отчетливое уменьшение.

При этом оказалось, что пороговой дозой ультразвука, вызывающей начальные сдвиги биохимических показателей, является интенсивность в 95—100 дб при продолжительности воздействия 1 час. Увеличение интенсивности ультразвука до 130—135 дб приводит к появлению отчетливых сдвигов перечисленных выше биохимических показателей, которые протекают в две фазы. Первая фаза изменений обнаруживается сразу после

В СЫВОРОТКЕ КРОВИ КРОЛИКОВ ДО И ПОСЛЕ ОЗВУЧИВАНИЯ

лик № 2			Кролик № 3						
сумма б у- линов	общий белок	альбу- мины/ глобу- лины	альбу- мины в %	глобулины в %			сумма глобу- линов	общий белок	альбу- мины/ глобу- лины
				α	β	γ			
31,73	6,15	2,14	66,42	10,65	10,97	11,94	33,56	6,42	1,97
31,99	6,32	2,12	68,85	10,47	9,89	10,76	31,11	6,07	2,21
29,60	6,15	2,37	69,60	10,30	9,58	10,51	30,39	6,42	2,29
стотой 50 кгц, интенсивностью									
чение часа									
31,54	6,61	2,16	65,05	8,60	14,85	11,47	34,92	6,61	1,86
33,46	6,56	1,98	62,03	12,04	14,74	10,29	37,07	6,56	1,68
31,94	6,42	2,13	69,65	9,72	12,26	8,35	30,33	6,42	2,29
33,62	6,42	1,97	67,50	7,10	14,08	11,30	32,48	6,12	2,07
32,80	6,07	2,04	64,60	8,50	14,60	12,27	35,37	6,07	1,82
42,33	6,42	1,45	60,10	13,68	12,56	13,75	37,99	6,12	1,53
35,82	6,56	1,79	61,20	12,57	13,56	12,66	38,79	6,61	1,59
26,68	7,09	2,74	71,88	9,21	10,51	8,31	28,03	7,03	2,50
—	—	—	74,60	8,59	9,82	6,98	25,39	6,56	2,93
28,53	6,42	2,50	69,03	7,49	13,93	9,53	30,95	6,42	2,23
33,79	6,42	1,95	68,66	7,35	13,05	10,90	31,31	6,42	2,19
31,48	6,42	2,17	66,72	9,35	11,66	12,24	33,25	6,42	2,00

озвучивания и является краткой во времени. На другой день после озвучивания она, как правило, исчезает. На 4—5—6-й день приходится максимум второй фазы, которая растянута на более продолжительный срок. При увеличении силы и продолжительности озвучивания минимум между фазами постепенно уменьшается, вершины фаз поднимаются, а продолжительность фаз во времени, особенно второй, увеличивается.

Конкретные данные, характеризующие биохимические сдвиги под влиянием низкочастотного ультразвука, представлены в табл. 10, 11, 12 и на рис. 30 и 31.

Из данных, приведенных в табл. 10—12, видно, что даже однократное воздействие ультразвука приводит ко вполне определенному изменению ряда важнейших биохимических показателей интенсивности обмена веществ. Весьма характерно, что эти сдвиги продолжаются в те-

Таблица 10

ТКАНЕВОЕ ДЫХАНИЕ МОЗГА И ПЕЧЕНИ КРЫС,
ПОДВЕРГНУТЫХ ВОЗДЕЙСТВИЮ УЛЬТРАЗВУКА
ЧАСТОТОЙ 54 КГЦ. ИНТЕНСИВНОСТЬЮ 130 ДБ
В ТЕЧЕНИЕ 1 ЧАСА (ММ³ НА 100 МГ ВЛАЖНОЙ ТКАНИ В 1 ЧАС)

Срок исследования (день после озвучивания)	Поглощение O ₂		Выделение CO ₂	
	мозг M ± m	печень M ± m	мозг M ± m	печень M ± m
Фон	100 ± 2,5	94 ± 4,4	104 ± 2,9	101 ± 4,2
1-й	113 ± 3,0	114 ± 11,8	118 ± 11,1	114 ± 1,9
2-й	126 ± 6,4	134 ± 2,2	126 ± 5,4	129 ± 7,3
3-й	105 ± 12,8	100 ± 11,1	102 ± 17,2	100 ± 1,0
4-й	125 ± 12,4	120 ± 15,9	125 ± 10,2	119 ± 19,0
5-й	126 ± 10,5	133 ± 13,3	126 ± 3,2	124 ± 5,7
6-й	124 ± 4,5	113 ± 6,0	119 ± 2,2	107 ± 5,4
7-й	102 ± 7,6	94 ± 8,9	107 ± 7,3	99 ± 8,3

Таблица 11

ОСНОВНОЙ ОБМЕН У БЕЛЫХ КРЫС,
ОЗВУЧЕННЫХ 6/VIII (130 ДБ, 54 КГЦ, 1 ЧАС)

№ крысы	День после озвучивания										
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й	8-й	9-й	10-й	11-й
1	13,3	18,4	13,3	10,9	7,8	7,4	17,3	14,7	12,6	14,1	11,1
2	14,0	22,7	16,5	12,3	30,0	25,0	25,4	20,0	23,8	15,0	13,0
3	17,8	16,7	14,8	16,0	12,2	5,2	15,5	15,6	11,9	15,5	11,1
4	22,3	19,6	16,9	15,4	16,9	6,5	11,2	14,6	20,8	15,3	12,6
5	17,5	24,4	15,0	22,5	24,4	16,9	16,6	17,5	23,1	13,8	12,3
6	16,8	20,0	20,0	20,0	23,6	10,7	23,6	19,3	19,3	14,2	13,0
7	10,0	17,2	13,2	11,8	14,6	7,2	15,0	16,4	18,2	14,8	12,8
8	28,8	29,9	13,8	13,8	11,5	16,0	20,4	19,6	21,3	14,3	11,6
9	21,2	32,5	13,7	12,7	17,5	13,7	13,7	17,5	17,5	15,2	10,3
M	18,0	20,1	15,2	15,0	18,3	12,0	17,6	17,0	18,7	14,8	1,97
± m	3,9	4,6	1,7	3,1	6,0	4,8	2,8	1,7	3,1	1,7	2,3

чение многих дней после озвучивания, причем сроки достижения пиковых значений для всех показателей весьма близки. Это обстоятельство указывает на то, что в сдвигах всех исследованных Р. М. Никольской биохимических показателей имеется какая-то единая причина. Этой причиной является, по-видимому, нарушение под влиянием ультразвука хода окислительных процессов, причем такое нарушение, которое связано с выделением

Таблица 12

УРОВЕНЬ САХАРА КРОВИ
ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УЛЬТРАЗВУКА
(54 КГЦ. 130 ДБ. 1 ЧАС)

Срок исследования (день после озвучивания)	Сахар в мг% ($M \pm m$)
Фон	от $90 \pm 2,7$ до $94 \pm 5,2$
Контроль	» $90 \pm 5,6$ » $105 \pm 7,3$
1-й	$76 \pm 7,0$
2-й	$70 \pm 3,4$
3-й	$76 \pm 6,2$
4-й	$67 \pm 2,8$
5-й	$67 \pm 2,5$
6-й	$77 \pm 4,5$
7-й	$83 \pm 7,8$
8-й	$89 \pm 2,8$
9-й	$91 \pm 2,5$

избыточного количества тепла. Некоторые особенности такого рода нарушения окислительных процессов в настоящее время изучены. Так, например, известно, что введение в организм динитрофенола (ДНФ) приводит к повышению дыхательного газообмена и теплопродукции в сочетании с явлениями снижения уровня процессов окислительного фосфорилирования. Под действием ДНФ происходит, следовательно, так называемое разобщение процессов окислительного фосфорилирования и процессов дыхания, являющихся источником теплообразования.

Такие же результаты наблюдались при недостатке в организме витамина Е, когда, с одной стороны, наблюдается снижение окислительного фосфорилирования (Мартиус, 1955), а с другой — избыточная теплопродукция (Блекстер, Браун, Вуд и Мак Дональд, 1953). Установлено также, что регулирующее влияние щитовидной железы на функцию теплообразования связано со способностью тироксина вызывать снижение дыхательного фосфорилирования в тканях (Мартиус, 1953—1955, С. Е. Северин, 1958).

Интересно сопоставить эти факты с тем, что при адаптации к холоду имеется увеличение функции щитовидной железы и, как показал ряд исследователей (Смайс и Файерхерст, 1958, Л. А. Гусева, 1964), при

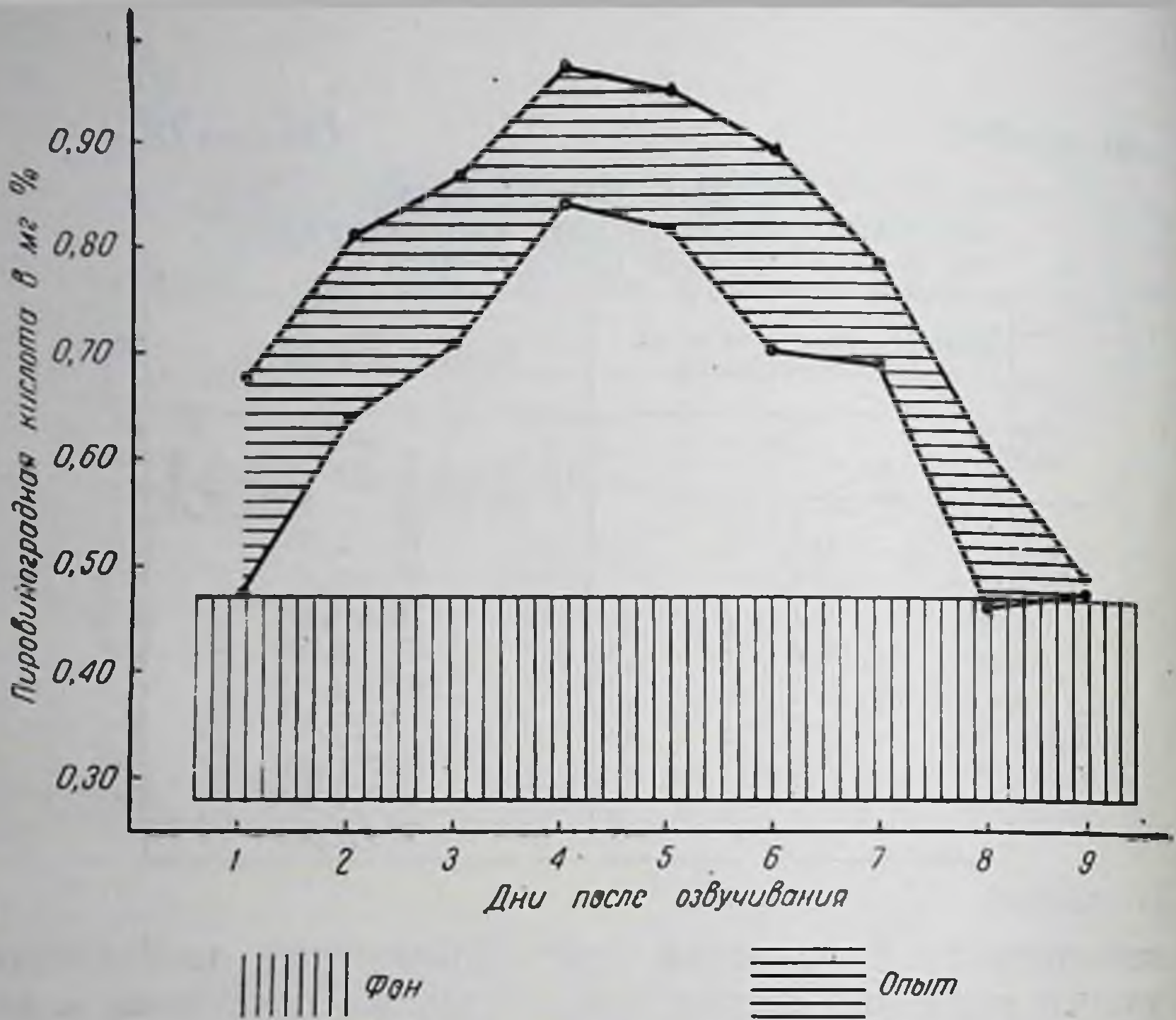


Рис. 30. Изменение уровня пировиноградной кислоты в крови кроликов после озвучивания (статистические данные).

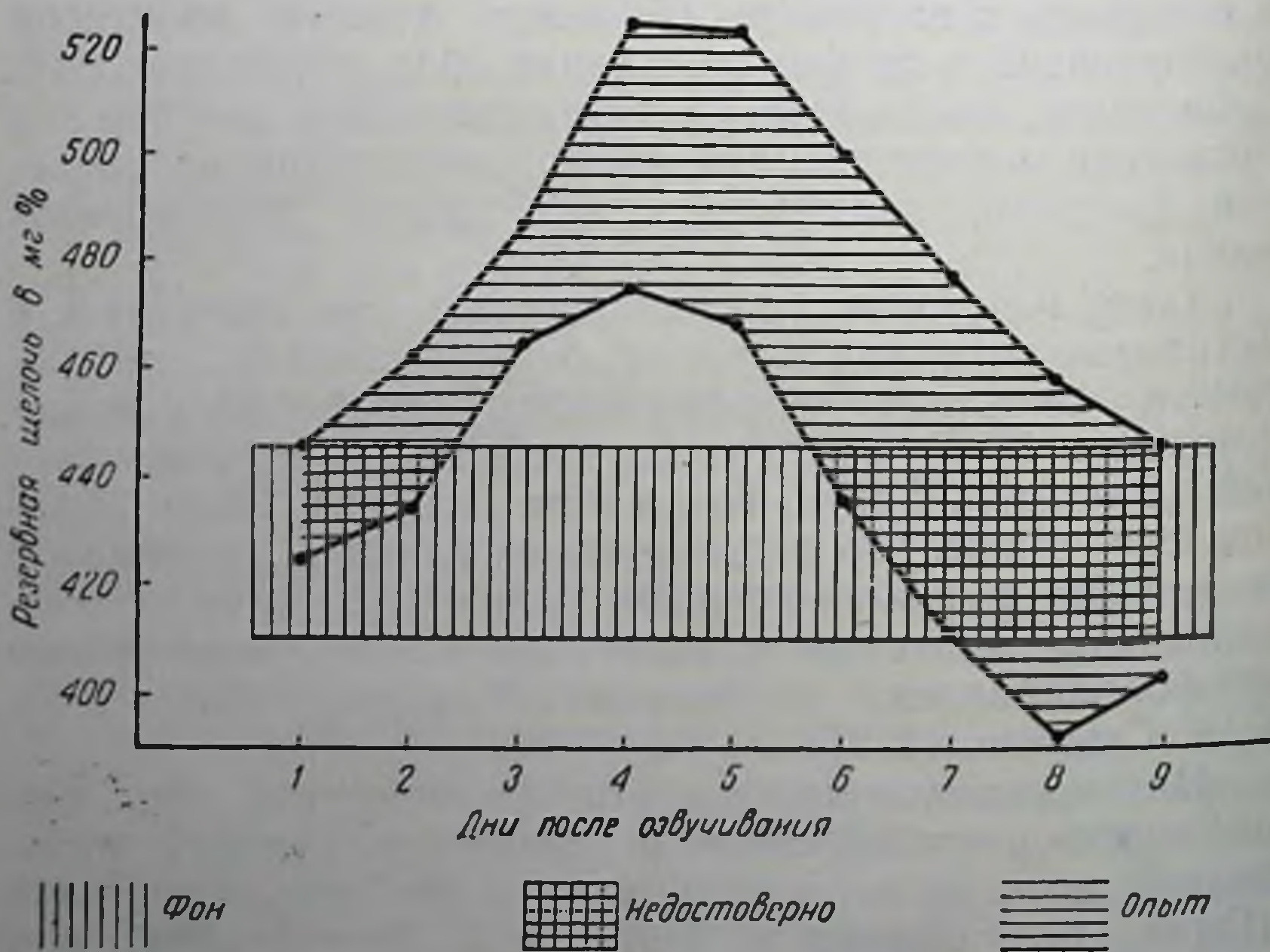


Рис. 31. Изменение уровня резервной щелочности крови у крыс после озвучивания (статистические данные).

этом также обнаруживается снижение фосфорилирования в сочетании с увеличением теплообразования.

Из этих данных может возникнуть предположение, что и в случае воздействия ультразвука повышение теплопродукции и интенсивности обмена веществ связано с некоторым разобщением процессов дыхания и фосфорилирования. Данные Р. М. Никольской ясно показывают усиление дыхательных процессов, что видно по увеличению потребления кислорода тканями и организмом в целом и по снижению сахара в крови. О возможности некоторого разобщения этих процессов дыхания с фосфорилированием может говорить, во-первых, их сочетание с повышенным теплообразованием, обнаруживаемым при воздействии ультразвука, и, во-вторых, их сочетание с повышенной функцией щитовидной железы, обнаруживаемой также при воздействии ультразвука. Прямым указанием на усиление именно дыхательных процессов при воздействии ультразвука говорят материалы об уменьшении при этом сахара в крови и увеличении пировиноградной кислоты. Однако прямых данных для вывода о снижении процессов фосфорилирования пока нет. Для этого нужны дополнительные исследования, в частности обмена фосфатов.

Из приведенных данных видно, что под влиянием ультразвука в организме происходят сложные биохимические процессы, изменяется уровень обмена веществ. Хотя внутренняя динамика этих процессов и не выяснена полностью, тем не менее и то, что уже известно, важно для характеристики ультразвука как физического фактора внешней среды человека.

ЗАВИСИМОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА ОТ ЕГО СИЛЫ И ЧАСТОТЫ

1. ПОРОГОВАЯ ДОЗА УЛЬТРАЗВУКА В ЭКСПЕРИМЕНТЕ

При озвучивании животных ультразвуком разной интенсивности были получены различные по силе и знаку сдвиги в исследованных физиологических и биохимических показателях. При интенсивности озвучивания свыше 100 дб были получены описанные выше вполне определенные сдвиги этих показателей. Совсем другой результат получен при озвучивании животных в течение 1—3 часов ультразвуком интенсивностью 95—100 дб. Как видно из рис. 32, величина скрытого времени оборотительного рефлекса у животных после озвучивания оставалась в пределах фоновых колебаний, хотя амплитуда колебаний, не выходя за пределы фона, увеличилась. Это обстоятельство говорит о том, что интенсивность ультразвука в 95—100 дб действительно близка к порогу, если не является самим порогом.

Проверочные опыты озвучивания других групп животных ультразвуком частотой 54 кгц, интенсивностью 95—100 дб и продолжительностью озвучивания 1 час дали такие же результаты по другим физиологическим показателям. На рис. 33 представлена динамика накопления радиоактивного йода в щитовидной железе крыс, подвергнутых озвучиванию ультразвуком интенсивностью 95—100 дб в течение часа. Видно, что у контрольных и озвученных крыс кривые накопления одинаковы.

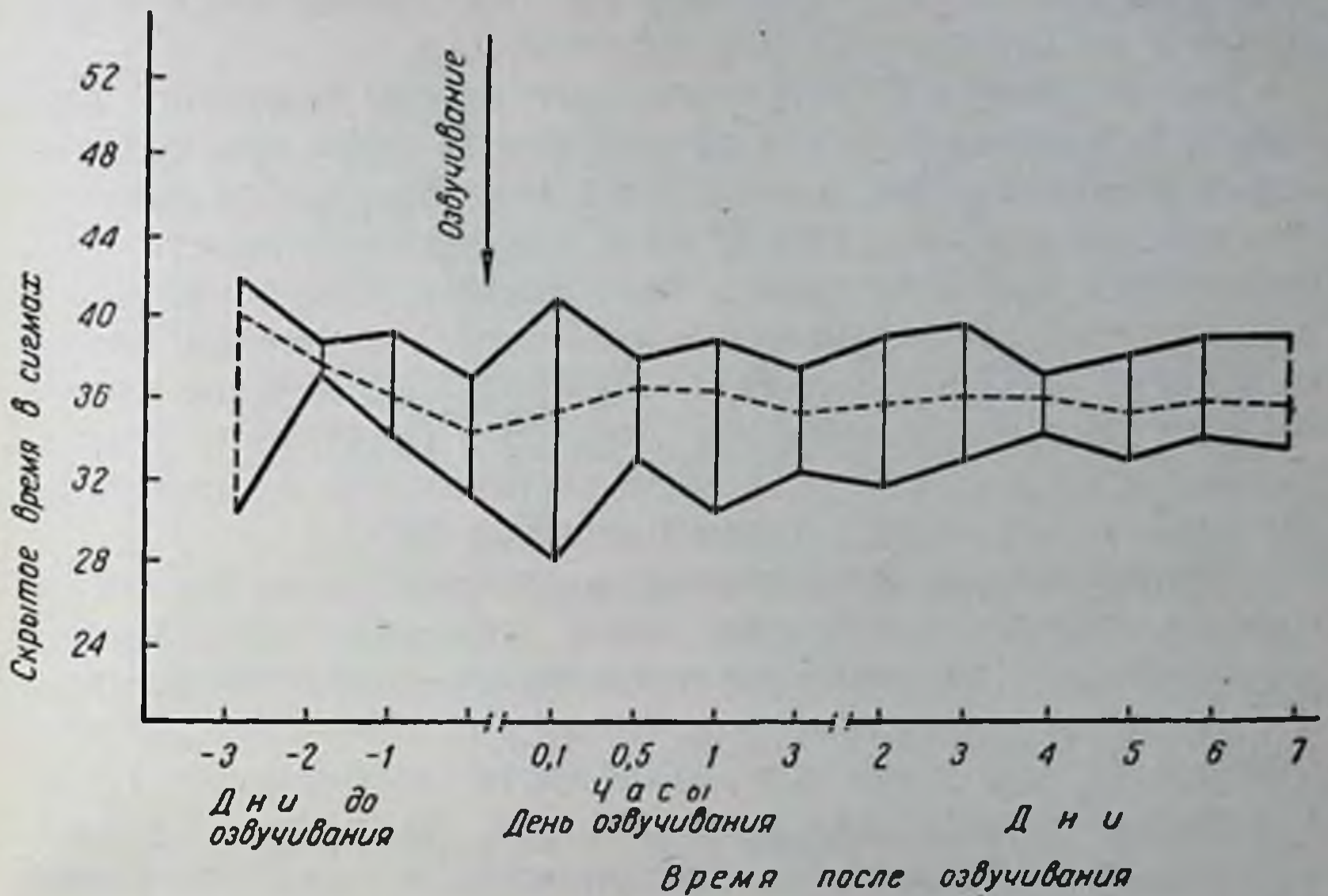


Рис. 32. Изменение скрытого времени безусловнорефлекторной оборонительной реакции у белых крыс при воздействии ультразвуком 95—100 дб, частота 54 кгц, продолжительность озвучивания — 1 час.

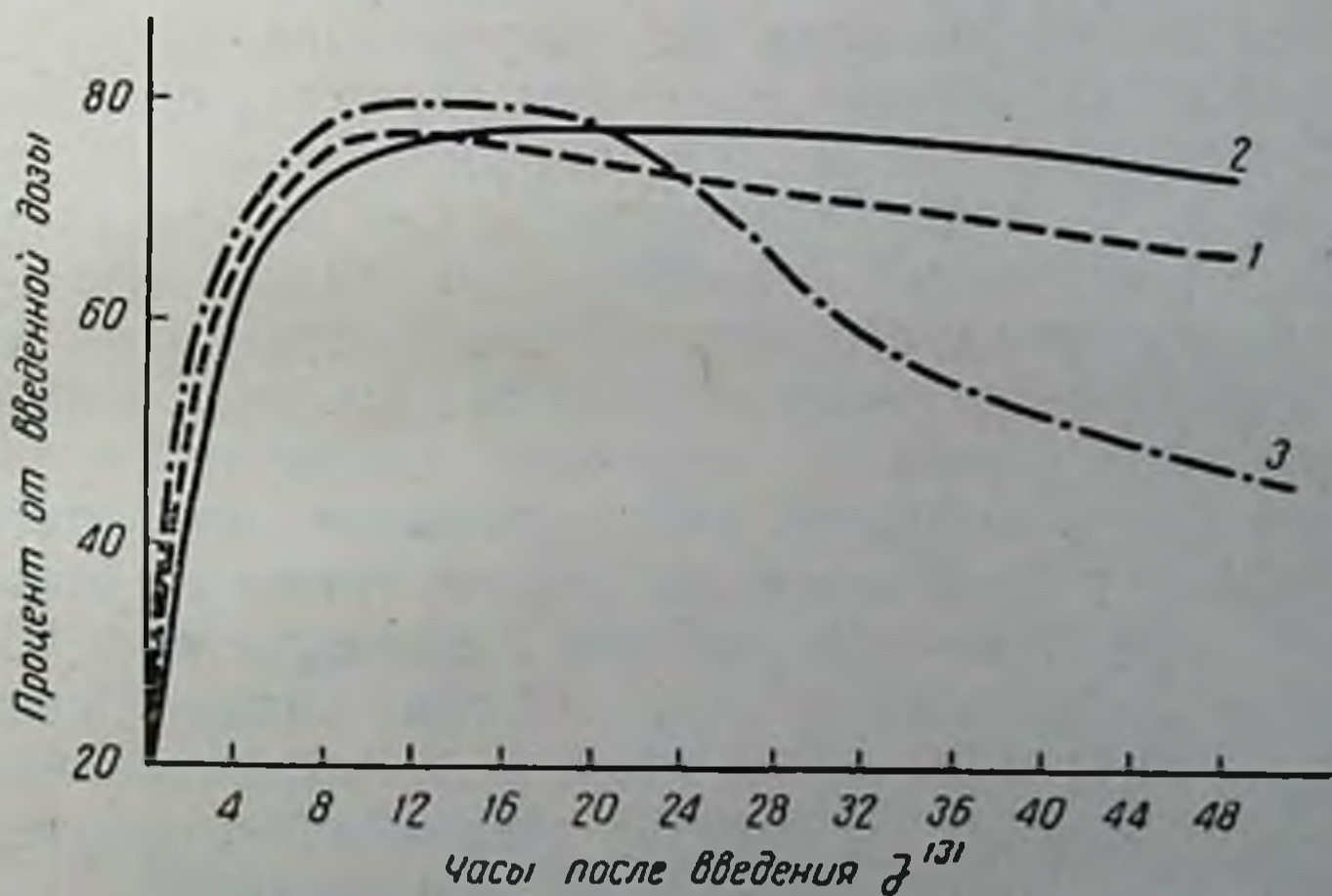


Рис. 33. Динамика накопления йода-131 в щитовидной железе белых крыс.

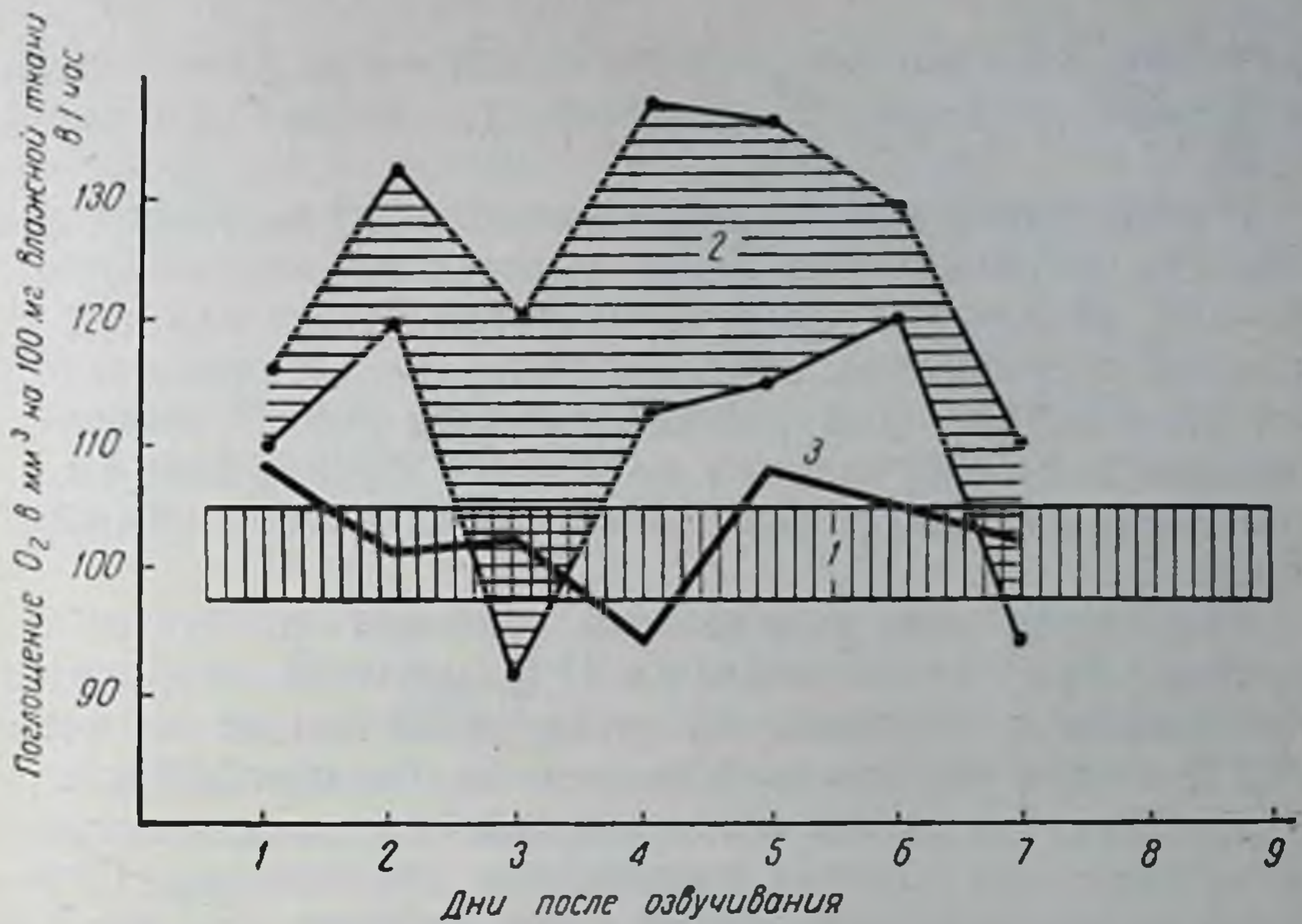
1 — в контроле; 2 — у крыс, озвученных в течение 1 часа ультразвуком, частота 54 кгц, интенсивность 95—100 дб (сдвигов нет); 3 — у крыс, озвученных в течение 5 часов ультразвуком в пороговой дозе (частота 54 кгц, интенсивность 95—100 дб).

Интенсивность ультразвука в 95—100 дб является пороговой и по биохимическим показателям.

Так, в опытах по изучению активности тканевого дыхания головного мозга и печени белых крыс при воздействии ультразвуком частотой 54 кгц было обнаружено, что при интенсивности 100 дб и продолжительности воздействия 1 час поглощение кислорода и выделение углекислого газа тканями головного мозга и печени почти не изменялись по сравнению с фоном. Это хорошо видно на рис. 34, где одновременно показано отчетливое увеличение интенсивности тканевого дыхания при воздействии на крыс ультразвука интенсивностью 130 дб.

Эта пороговая интенсивность ультразвука не является, однако, обязательной для всех условий воздействия ультразвука. Проведенное нами ежедневное озвучивание 6 крыс ультразвуком интенсивностью 95—100 дб при частоте 54 кгц и продолжительности озвучивания 1 час в течение 15 дней, как видно на рис. 35, привело к превращению пороговой интенсивности в надпороговую. Если до озвучивания величина скрытого времени у всех подопытных крыс располагалась на уровне 33—40 σ, то уже после третьего повторного озвучивания пороговой дозой этот уровень увеличивался до 37—42 σ. Он удерживался вплоть до 12-го дня озвучивания, когда обнаруживалось укорочение величины скрытого времени до 30—36 σ. Проведение на 13-й день двукратного озвучивания вновь удлинит скрытое время до 35—43 σ. Из описания этого опыта действительно видно, что ежедневные повторные озвучивания подопытных крыс пороговой дозой ультразвука вызывают вполне очевидные надпороговые сдвиги в величине скрытого времени. К этому нужно добавить, что удлинение однократного озвучивания с 1—3 часов до 7 часов также вызывает у крыс переход пороговой реакции в надпороговую. Такие данные представлены на рис. 33, где видна большая разница в характере накопления радиоактивного йода у крыс, подвергнутых 7-часовому озвучиванию при интенсивности ультразвука 95—100 дб, и в контроле.

Роль удлинения времени озвучивания отчетливо видна также и на сдвигах биохимических показателей. Так, по данным Р. М. Никольской, удлинение времени воздействия ультразвука с 30 минут до 3 часов выражается в возрастании интенсивности тканевого дыхания



ис. 34. Уровень поглощения кислорода мозгом (по измерению тканевого дыхания по Варбургу) при воздействии ультразвуком разной интенсивности.

1 — фон; 2 — 130 дб; 3 — 100 дб.

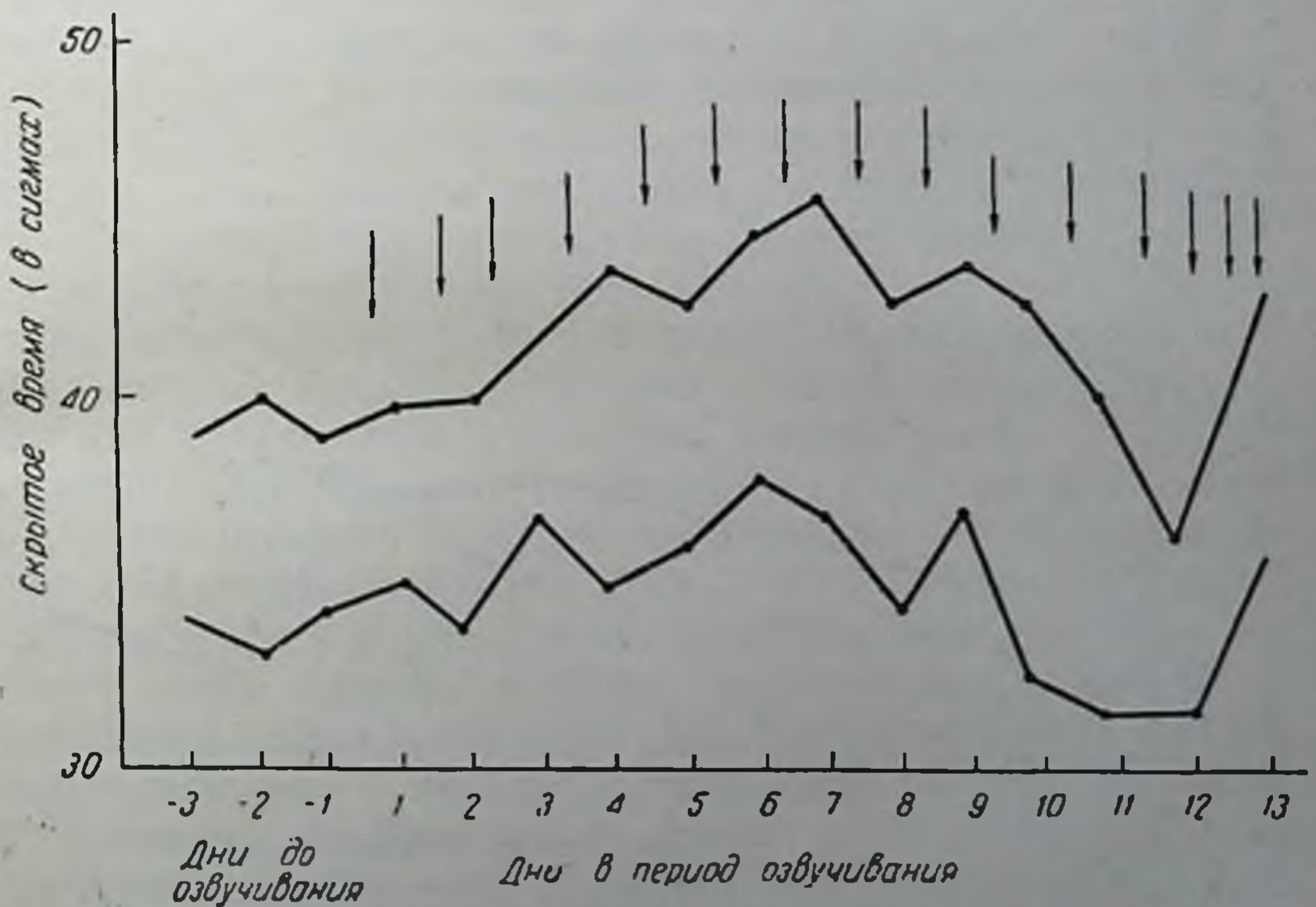


Рис. 35. Изменение скрытого времени безусловнорефлекторной оборонительной реакции у белых крыс при повторных воздействиях ультразвуком в пороговой дозе. Стрелками показаны моменты озвучиваний.

(рис. 36). Аналогичные данные в отношении условнорефлекторной деятельности белых крыс были приведены выше.

В результате изложенного можно прийти к выводу о том, что установленная нами пороговая интенсивность 95—100 дБ для ультразвука частотой 54 кгц зависит от условий озвучивания. Многократное ежедневное повторное озвучивание этой интенсивностью или удлинение однократного озвучивания до 7 часов превращает пороговые сдвиги различных показателей в явно надпороговые.

Пороговая доза ультразвука зависит также от его частоты. Так, по данным О. Н. Горбунова, пороговая интенсивность ультразвука частотой 28 кгц по изменению функции щитовидной железы составляет 120 дБ.

Как будет показано выше, пороговая интенсивность зависит также от способа воздействия ультразвука. Пороговая интенсивность в 100 дБ была найдена при воздействии ультразвука на всю поверхность тела. Если вместо

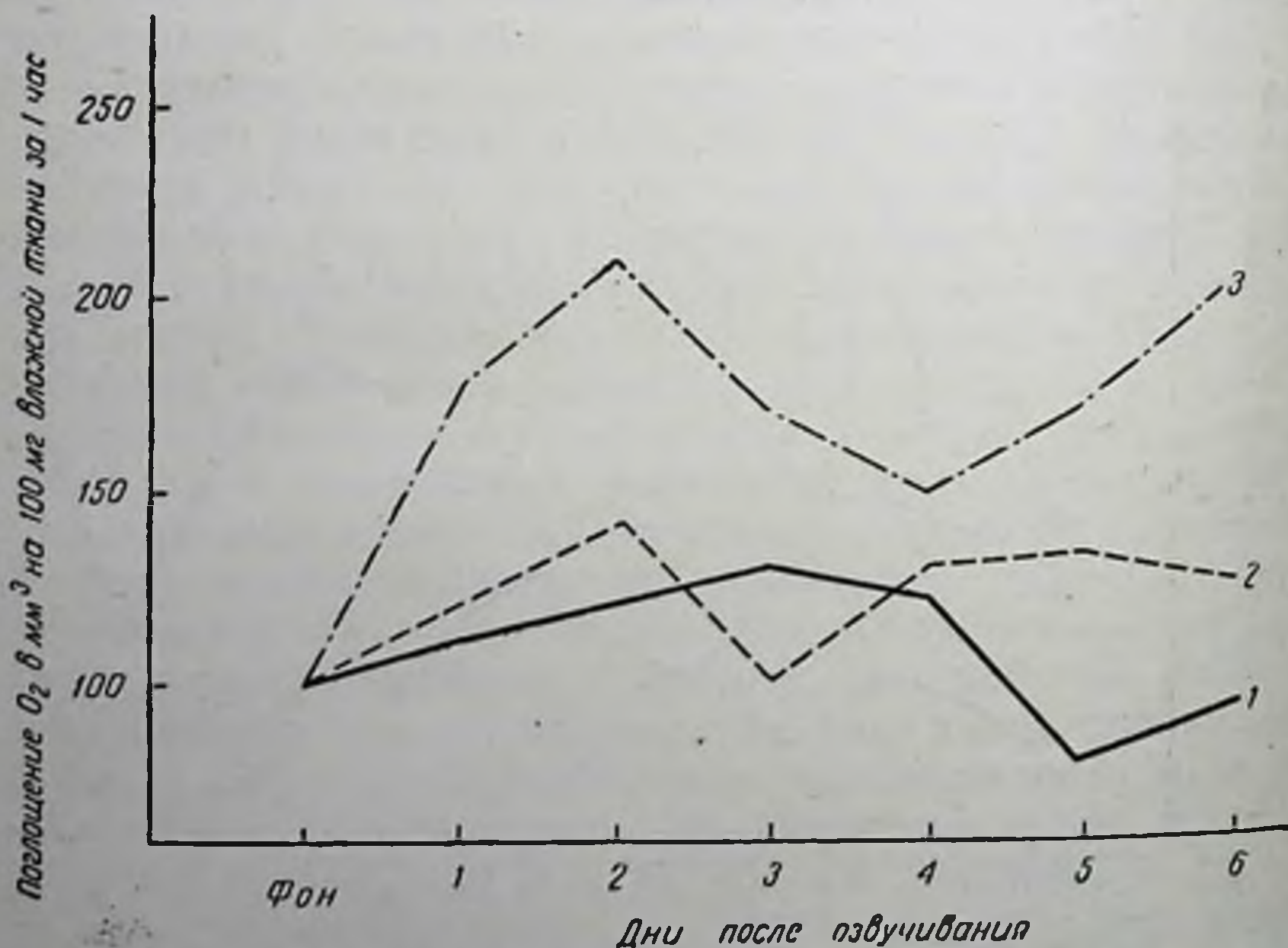


Рис. 36. Изменение поглощения кислорода тканью мозга (по методу Варбурга) при воздействии ультразвуком 54 кгц, 130 дБ.

1 — озвучивание 30 минут; 2 — озвучивание 1 час; 3 — озвучивание 3 часа.

общего тотального воздействия применять то или иное локальное, например только на голову, то пороговая интенсивность возрастает до 110—115 дб. Это обстоятельство более подробно будет рассматриваться ниже.

2. НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА НАДПороГОВОЙ ИНТЕНСИВНОСТИ

Мы уже приводили данные о том, что при воздействии ультразвука надпороговой интенсивности ряд физиологических и биохимических показателей изменяется по двухфазной кривой. При воздействиях, близких к порогу, при этом часто обнаруживается прямо противоположное изменение того или иного показателя, например укорочение скрытого времени рефлекса, уменьшение резервной щелочности и т. д., как это было показано на рис. 23 и 24. Если удлинение скрытого времени безусловно- или условнорефлекторной реакции необходимо рассматривать как явление угнетения функций нервной системы, то укорочение скрытого времени говорит о стимулирующем действии ультразвука. Последнее особенно хорошо видно на повышении интенсивности тканевого дыхания и увеличении резервной щелочности. Следовательно, дозированием интенсивности и продолжительности ультразвукового воздействия можно получить то стимулирующий, то угнетающий эффект.

В связи с фазностью действия ультразвука представляет интерес вопрос о значении этой фазности, в частности для результатов повторных озвучиваний.

Как видно на рис. 37, повторные озвучивания приводят действительно к суммации эффекта. Уровень величины скрытого времени у крыс, озвучиваемых повторно, выше уровня для крыс, озвученных однократно. В то же время имеет значение и фаза, в которую производится повторное озвучивание (рис. 38). Если повторное озвучивание попадает в максимум изменений от предыдущего озвучивания, то суммарный сдвиг уменьшается, а если повторное озвучивание попадает в минимум между фазами от предыдущего, то суммарный сдвиг увеличивается.

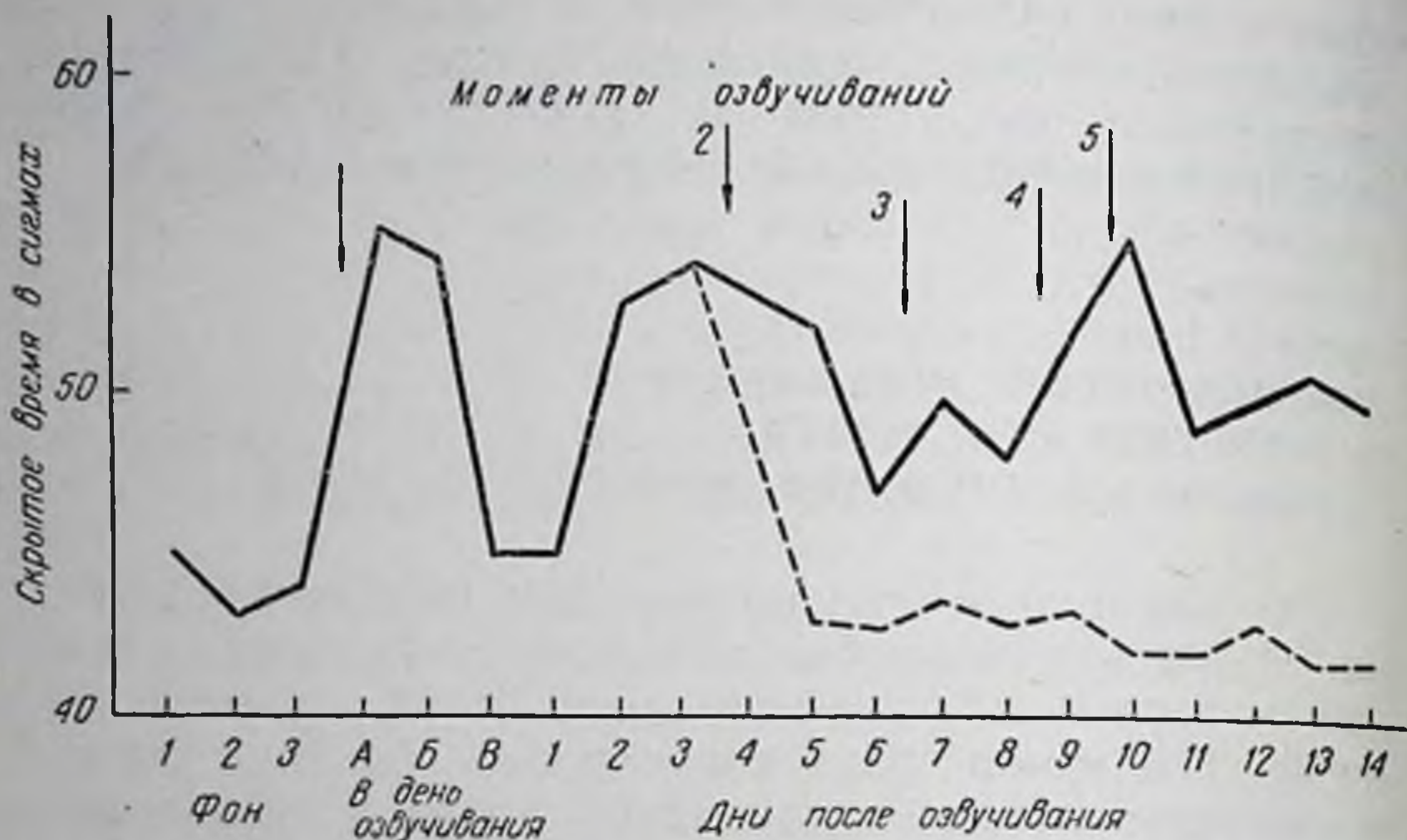


Рис. 37. Динамика скрытого времени безусловнорефлекторной реакции у крыс, подвергнутых многократному (1—5) озвучиванию в надпороговой дозе. Пунктиром показано изменение скрытого времени рефлекса при однократном озвучивании.

Особенности реагирования на последовательные раздражения, установленные Н. Е. Введенским, указывают, как известно, на фазный характер изменений функционального состояния, возникающих в ответ на единичное воздействие. В силу этого результат последующего воздействия будет зависеть от того, в какую фазу последующего воздействия от предыдущего оно попадает.

Эти особенности в отношении последовательных воздействий ультразвука и демонстрируются отчетливо на рис. 38.

Аналогичные данные в отношении значения фазности при повторных озвучиваниях получены также для йодфиксирующей функции щитовидной железы и для биотоков коры больших полушарий мозга кролика. В отношении йодфиксирующей функции щитовидной железы повторные озвучивания проводились в два срока: через 12 часов и на 4-й день после первичного озвучивания. Выбор указанных сроков повторного озвучивания был обусловлен тем, что в предыдущих исследованиях для этих сроков были установлены разные по своему характеру изменения йодфиксирующей функции щитовидной

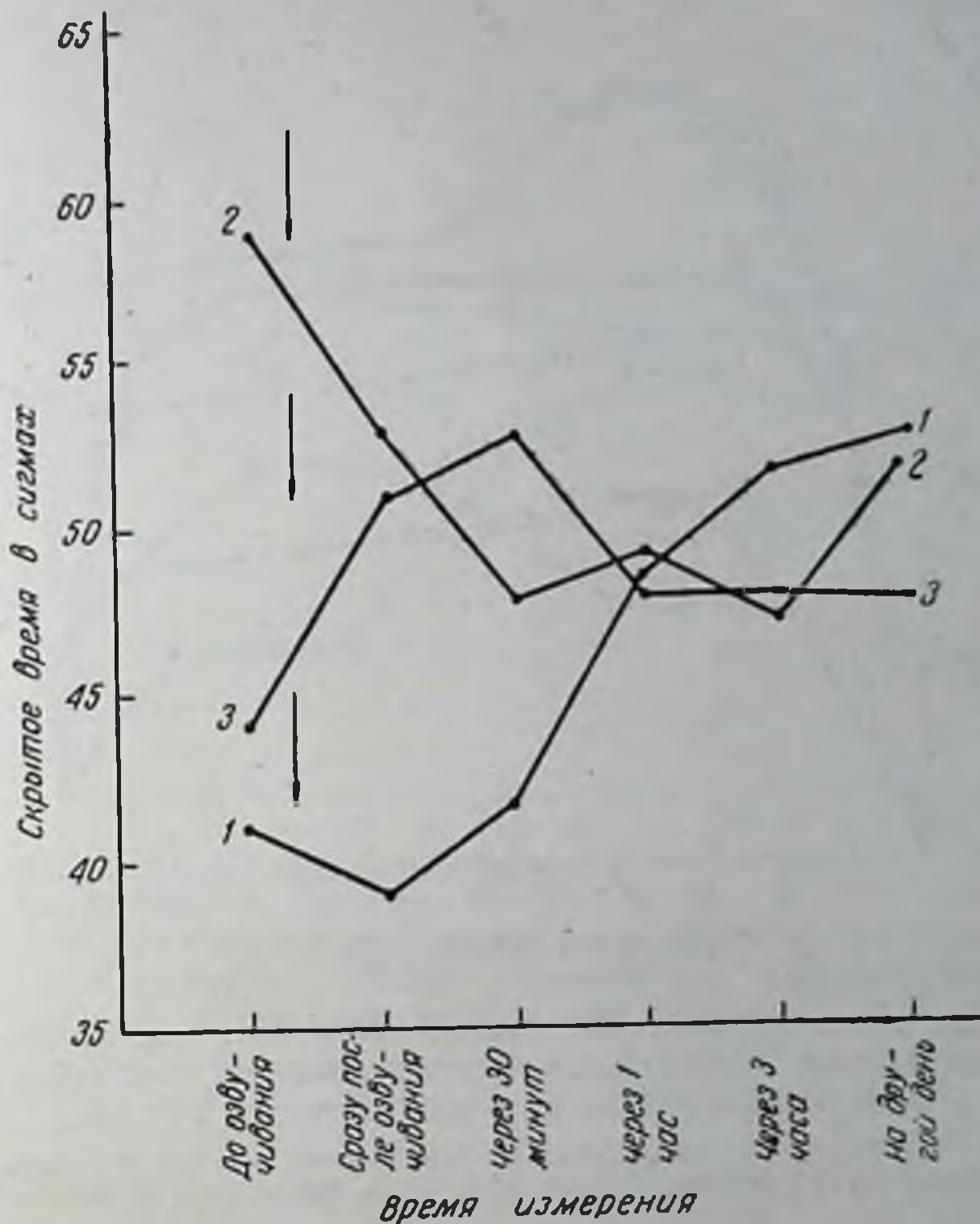


Рис. 38. Характер суммации скрытого времени при повторных воздействиях ультразвуком в зависимости от фазы сдвига после первоначального воздействия ультразвуком.

Объяснение в тексте.

железы. В первые 12 часов было отмечено торможение йодфиксирующей функции, в то время как к 4-му дню после озвучивания наблюдалась активизация этой функции.

В результате исследований установлено, что повторное озвучивание в первые 12 часов, т. е. в первую фазу изменений функции щитовидной железы после первичного озвучивания, привело к изменениям, сходным с теми, которые были отмечены после первичного озвучивания. Так, после озвучивания ультразвуком интенсивностью 112 и 125 дб в первые 16 часов содержание J^{131} в железе составляло 18—23%, в то время как в контроле

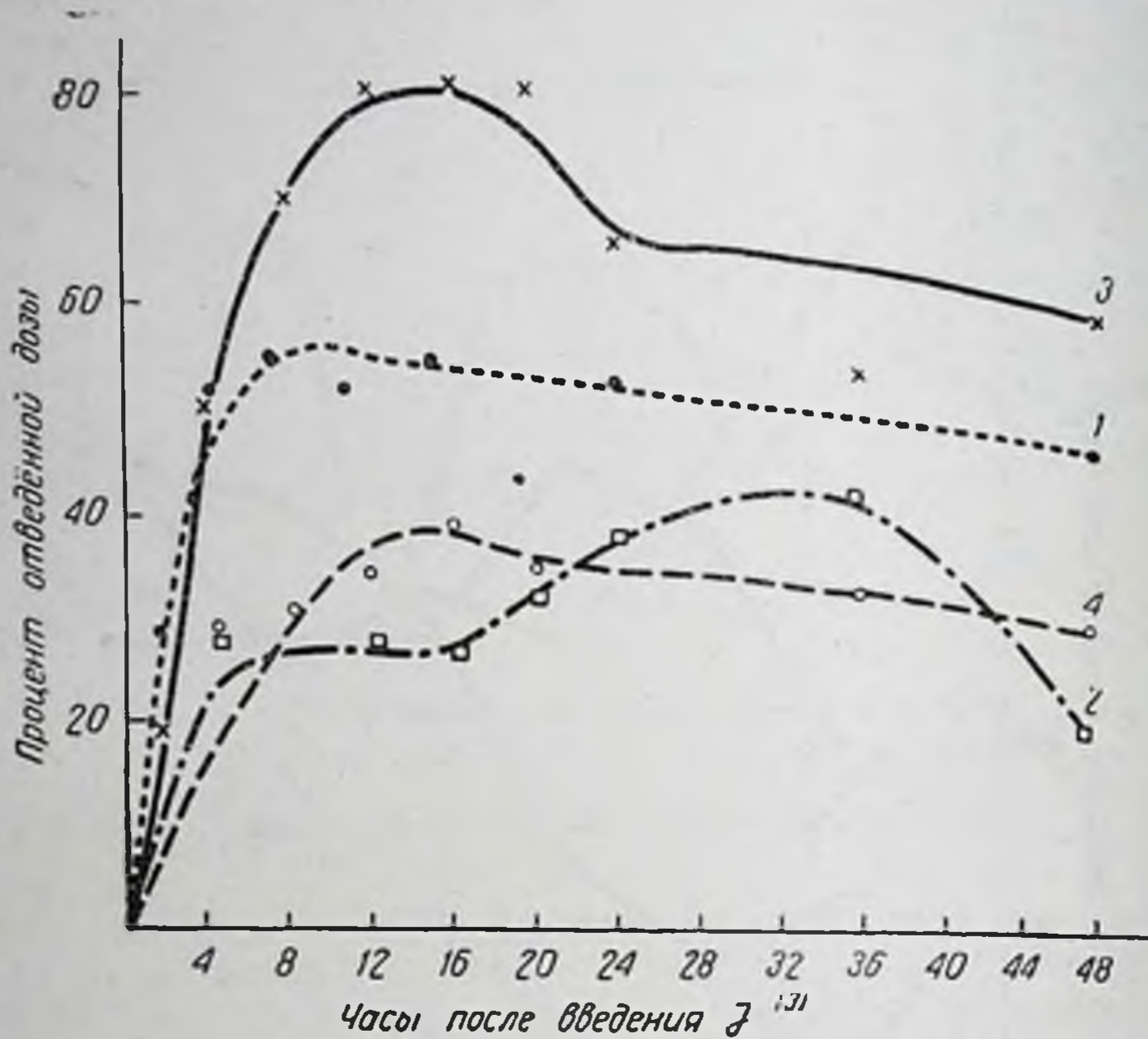


Рис. 39. Динамика накопления йода-131 в щитовидной железе белых крыс, подвергавшихся воздействию ультразвуком интенсивностью в 112 дб.

1 — контроль; 2 — сразу после озвучивания; 3 — на 4-й день после озвучивания; 4 — на 15-й день после озвучивания.

оно было равно 26—44 и 44—52%. Характер кривых накопления радиоактивного йода у животных, подвергнутых такому озвучиванию, резко отличался от контроля (рис. 39 и 40).

При воздействии ультразвуком повторно во второй фазе, т. е. на 4-й день после первичного, установлены совсем другие изменения функции щитовидной железы. Накопление J^{131} после озвучивания ультразвуком интенсивностью 125 дб уже через 4 часа достигало максимум 55% от введенной дозы, а после озвучивания интенсивностью 112 дб через 12 часов достигало 62%. При этом в первом случае установлено и ускоренное выведение J^{131} из железы, в результате чего его содержание через 48 часов составляло только 23%. Такой характер кривой обычен для гиперфункции щитовидной железы.

Таким образом, и в отношении функции щитовидной железы результаты повторных озвучиваний зависят от

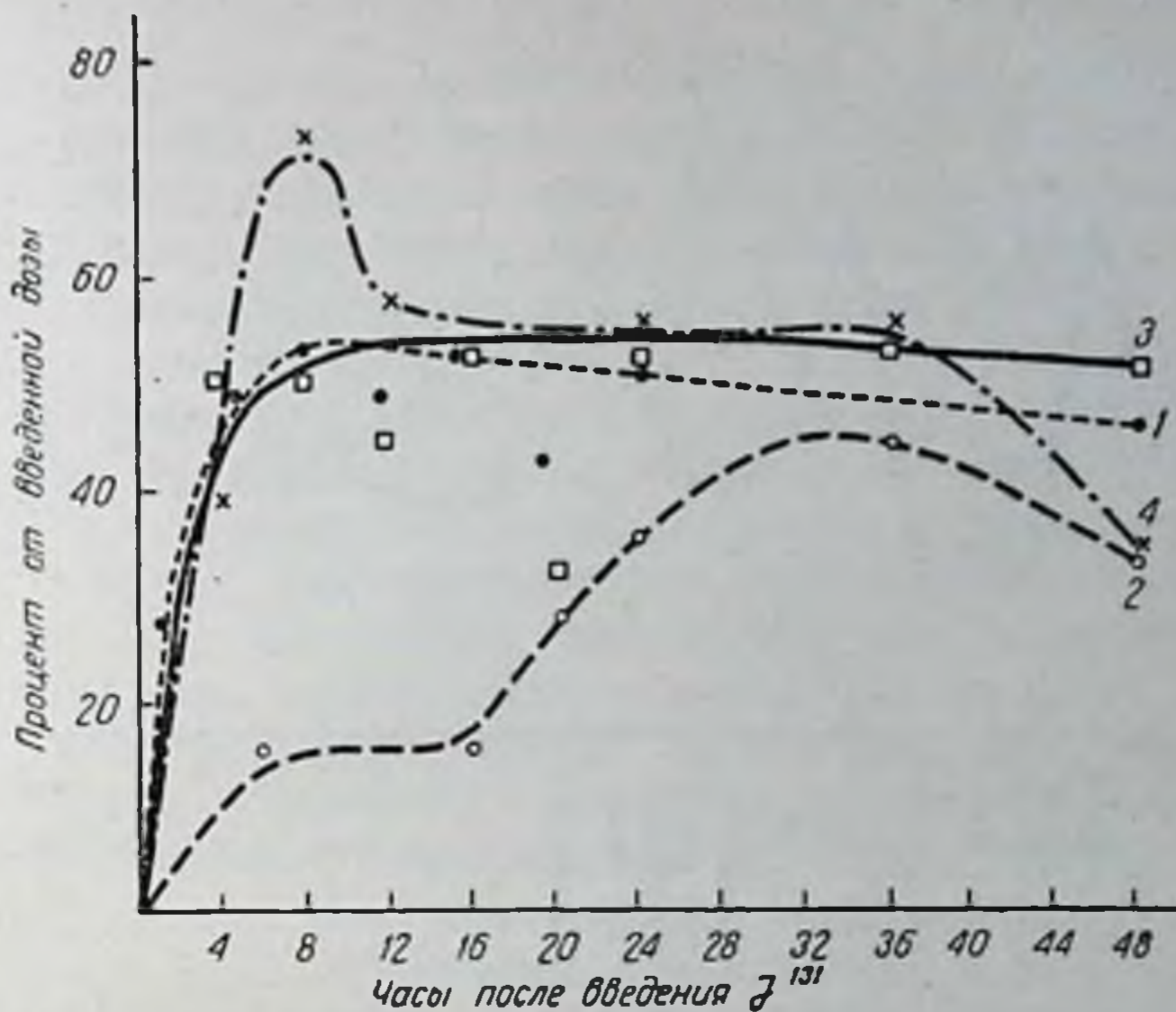


Рис. 40. Динамика накопления йода-131 в щитовидной железе белых крыс после озвучивания ультразвуком интенсивностью 125 дб.

1 — в контроле; 2 — сразу после озвучивания; 3 — на 15-й день после озвучивания; 4 — на 4-й день после озвучивания.

того, в какую фазу от первого озвучивания они попадают. Этот вывод сохраняет силу и в отношении биоэлектрической активности коры больших полушарий. Повторное озвучивание ультразвуком интенсивностью 120 дб на 3-й день после первого озвучивания вызывало различный эффект в зависимости от того, в какую фазу оно попадало от предыдущего озвучивания. В большинстве случаев наблюдалось снижение вольтажа биопотенциалов с развитием в дальнейшем фазы высокой биоэлектрической активности. Иногда же, когда повторное воздействие ультразвуком приходилось на фазу вторичного угнетения биоэлектрической активности коры, сдвиг в амплитуде биопотенциалов был противоположно направлен, т. е. вместо обычно наблюдающейся первичной реакции в виде снижения биопотенциалов коры головного мозга наблюдается усиление электрической активности. На следующий день и у таких животных наблюдалось уплощение электроэнцефалограммы, стойко державшее-

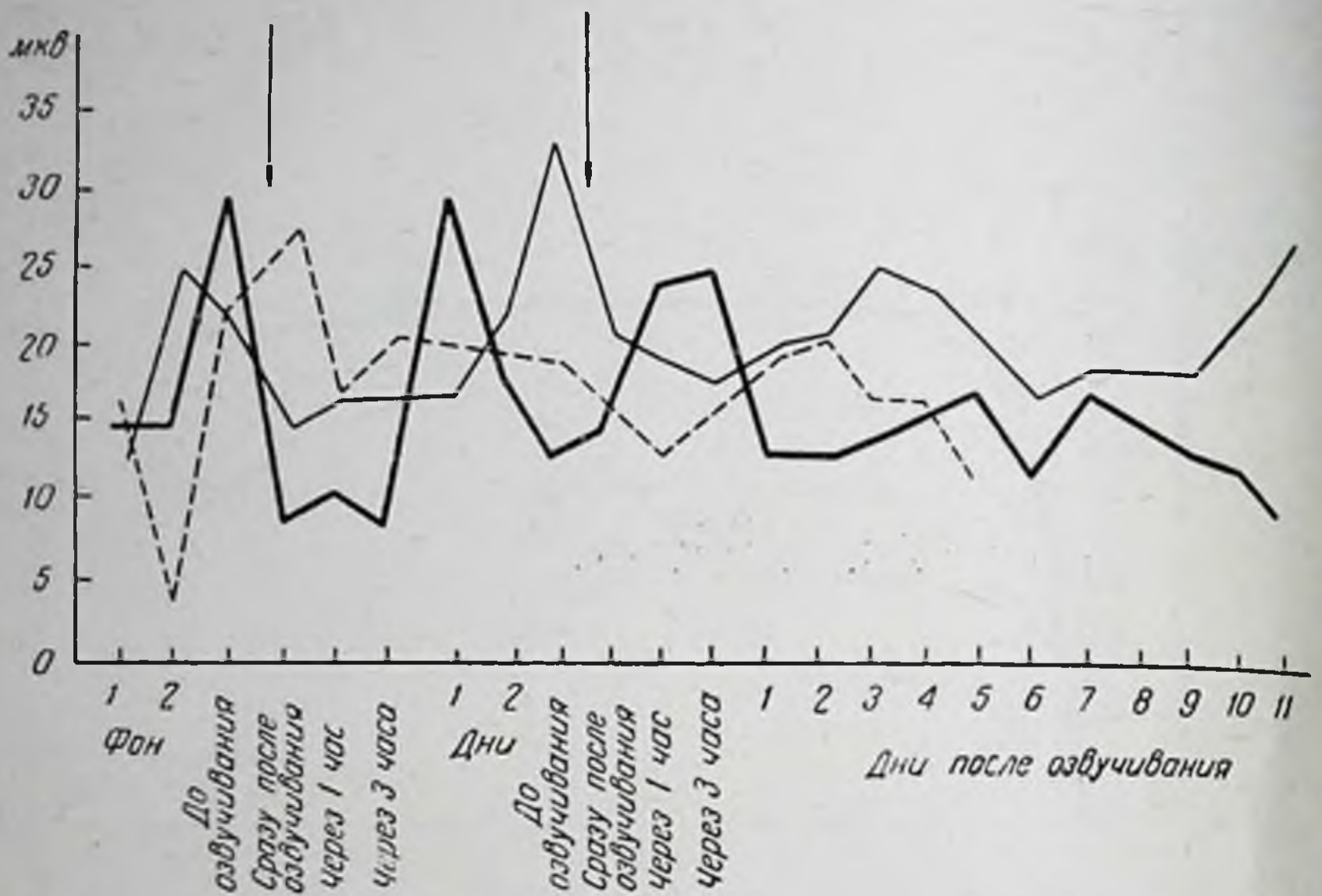


Рис. 41. Динамика биоэлектрической активности коры головного мозга кроликов при повторном озвучивании (54 кгц, 120 дб, 1 час). Индивидуальные кривые.

На ординате—биоэлектрическая активность в мкв; на абсциссе—время опыта.

ся в течение многих дней (рис. 41). Фазы угнетения биоэлектрической активности коры после повторного применения ультразвука у всех кроликов были более продолжительными, чем после первого озвучивания. Более длительное время наблюдались в электроэнцефалограмме и веретена.

3. АДДИТИВНОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА

Мы уже приводили данные Pohlman об отсутствии аддитивности при воздействии ультразвуком. Wiedan (1956) и Bergs (1951) также отрицают аддитивность действия ультразвука. Wiedan в течение 10 лет провел много повторных воздействий ультразвуком в лечебных целях и ни в одном случае не обнаружил поздних или суммационных осложнений, как это имеет место при рентгено- и радиотерапии.

Наши данные в противовес этим указывают на то, что результаты повторных озвучиваний суммируются. Превращение пороговой дозы ультразвука в надпороговую при повторных пороговых воздействиях (см. рис. 36) или при удлинении времени действия (см. рис. 34) не может быть понято иначе, как результат суммирования, т. е. аддитивности действия ультразвука. На рис. 38 показано, что повторные озвучивания приводят к устойчивому удлинению величины скрытого времени рефлекса, в то время как однократное озвучивание по миновании второй фазы сдвига заканчивается возвращением величины скрытого времени к исходному уровню.

В пользу аддитивности биологического действия ультразвука (широкого диапазона частот) можно привести ряд данных литературы. Minoguchi (1940, 1941) сравнивает действие ультразвука с действием рентгеновых лучей. К. Д. Эристави, А. Н. Онанов, Г. Е. Георгадзе и др. (1955) указывают, что повторное озвучивание ведет у кроликов к лейкопении, потере веса, выпадению шерсти, хроническому шелушению кожи. Ledeburg (1949) приводит данные о том, что у него самого в результате 4726 сеансов лечения ультразвуком различных больных развился двусторонний неврит кисти и предплечья. Woeber (1949) указывает, что непрерывное озвучивание спинного мозга вызывает спастический паралич, в то время как прерывистое — такими изменениями не сопровождается. Anthony и Askerman (1955) приводят данные о том, что ежедневное 100-минутное озвучивание мышцей привело вначале к незначительному увеличению надпочечников. Однако продолжение озвучивания до 12 недель вызвало в них явную патологию.

Все эти данные говорят в пользу представления об аддитивности биологического действия ультразвука. Случаи же отсутствия аддитивности при действии ультразвука, на наш взгляд, могут найти объяснение в связи с вопросом о неравноценности общего и местного озвучивания, о чем будет говориться ниже.

К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ

По ходу изложения мы уже несколько раз касались вопроса о тех или иных сторонах механизма биологического действия ультразвука. Так, при изложении данных о повышении температуры тела и кожи при воздействии ультразвука мы сообщили данные Р. М. Никольской и других авторов о повышении обмена веществ при этом как возможной причине повышенного теплообразования. Мы привели данные также об образовании при воздействии ультразвука атомарных водорода и кислорода и перекиси водорода как возможной причине химических изменений в организме, возникающих при этом. Разбирая вопрос о механических повреждениях органов и тканей при воздействии ультразвука, мы привели ссылки на литературу о связи этих повреждений, с одной стороны, с кавитацией, а с другой — с микровибрацией, обнаруживаемых при воздействии ультразвука.

Есть, однако, и другие стороны этого вопроса, к которым относятся такие, как связь биологического действия ультразвука со способностью его восприятия органом слуха, о зависимости биологического действия от величины озвучиваемой поверхности тела, а также от исходного состояния организма.

Все это более внешние стороны механизма биологического действия ультразвука по сравнению с теми, которые были упомянуты выше. Но эти «внешние» сторо-

ны, помимо теоретического значения, играют огромную практическую роль для понимания ультразвука как профессиональной вредности. Поэтому мы считали необходимым выделить эти вопросы в специальный раздел.

1. О ПУТЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА НА ЖИВОТНЫЙ ОРГАНИЗМ

Некоторые исследователи считают, что ультразвук действует исключительно через орган слуха. Такой точки зрения придерживается, например, Grognot (1958). Он приводит данные о том, что у глухих, озвученных такой же дозой ультразвука, что и люди с нормальным слухом, не наблюдается никаких признаков действия ультразвука. Такого рода представления о способе восприятия ультразвука противоречат многочисленным физиологическим данным о границах восприятия органом слуха воздушных колебаний. Наиболее полная сводка этих данных в отношении позвоночных животных приведена А. В. Бару (1962). Для кроликов верхней границей воспринимаемых звуковых частот в этой сводке указывается частота 5200 гц, а для крыс 40—55 кгц. Для человека максимальная частота воздушных колебаний, воспринимаемых его ухом, составляет, по данным многочисленных исследований, 16—20 кгц. Следовательно, частоты сверх этого воспринимаемого органом слуха максимума не могут оказать специфического (адекватного) воздействия на организм через орган слуха и если фактически обнаруживается биологическое действие ультразвука, то оно в этом случае может свидетельствовать о неспецифическом действии через орган слуха или, помимо органа слуха, через всю поверхность тела озвучиваемого организма, как это имеет место, например, для электромагнитных колебаний и радиоактивных излучений.

Возможность биологического действия ультразвука, помимо органа слуха, доказана всей лечебной практикой применения ультразвука, когда его источник прикладывают непосредственно к части тела, подлежащей лечебному воздействию. Об этом же говорят многочисленные

эксперименты с местным приложением ультразвука, например, к различным областям головного мозга (опыты Lunn и др.), к области спинного мозга (опыты Fгу F. J. и др. на лягушках), к изолированному нерву (опыты Schmitz и Hoffmann). Н. Н. Горев, М. И. Гуревич и Л. П. Черкасский (1959, 1961) нашли, что при приложении ультразвука к затылочной части головы у кроликов обнаруживаются отчетливые изменения артериального давления, дыхания, резкий депрессорный эффект, а при приложении на область сердца — изменения в электрокардиограмме, возрастающие с увеличением силы ультразвукового воздействия.

В этом отношении представляют интерес и наши экспериментальные данные. Верхняя частота исследованного нами ультразвука составляла 54, а нижняя — 28 кгц. Следовательно, обе они воспринимались органом слуха бывших у нас под опытом крыс и не воспринимались органом слуха кроликов. Однако как на крысах, так и на кроликах нами были получены отчетливые признаки биологического действия ультразвука. В части опытов уши наших крыс мы для поглощения ультразвука защищали специальными антифонами. Тем не менее при этом не было обнаружено разницы в силе биологического действия ультразвука на крыс с защитой и без нее. Частота ультразвука 54 кгц в соответствии с данными сводки А. В. Бару (1962) относится к максимальной из воспринимаемой крысами (некоторые крысы ее даже не воспринимают). Поэтому при понижении частоты ультразвука до 28 кгц можно было ожидать усиление биологического действия ультразвука по сравнению с частотой 54 кгц. Однако этого не произошло — ультразвук при частоте 28 кгц оказывает на крыс менее выраженное действие.

К вопросу о способе действия ультразвука имеют отношение данные об изменении проницаемости кожи под влиянием ультразвука. Показателем проницаемости кожи в этих опытах, проведенных в нашей лаборатории (С. И. Горшков, О. Н. Горбунов), было изменение скорости накопления J^{131} в щитовидной железе белых крыс. Опыты ставились следующим образом: у крыс выбривали участок кожи площадью 4 см; на этот участок кожи наносили тонким не растекающимся слоем спиртового водный раствор NaJ^{131} в количестве 0,3 мкк. Одних из

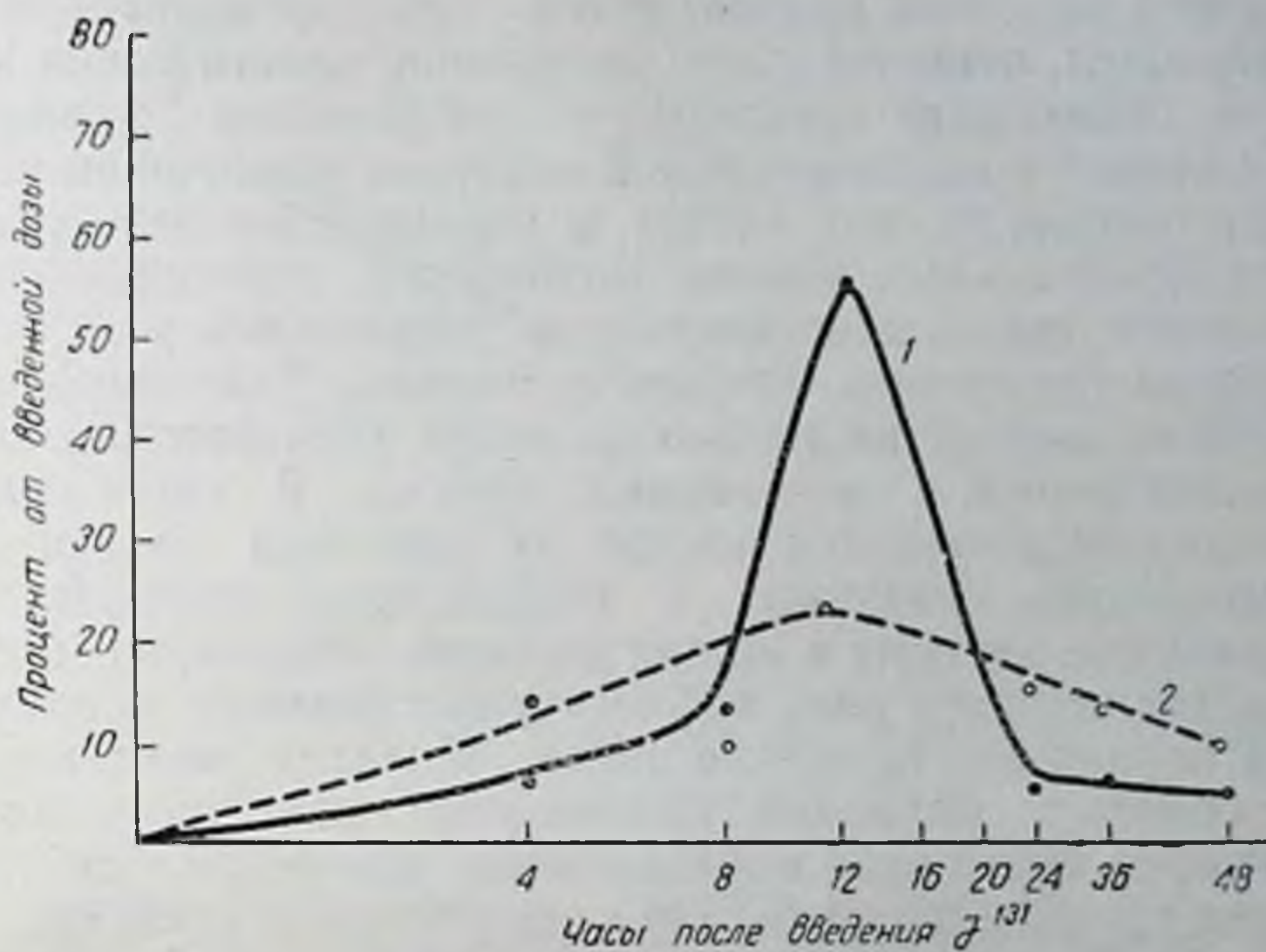


Рис. 42. Динамика накопления йода-131 в щитовидной железе белых крыс при введении его через кожу.
1 — у озвученных крыс; 2 — у неозвученных крыс.

этих крыс подвергали затем общему воздействию ультразвука (54 кгц, 130 дб, 1 час), другие же служили контролем и озвучиванию не подвергались. Накопление йода у озвученных крыс происходило намного интенсивнее, чем у неозвученных (рис. 42). Это обстоятельство указывает на повышение проницаемости кожи под влиянием ультразвука, что имеет большое значение в связи с вопросом о способе и пути его действия.

С этими данными согласуются изменения в рыхлой соединительной ткани подкожной клетчатки под влиянием ультразвука, описанные А. П. Сперанским и И. Л. Марцвеладзе (1962). В опытах этих авторов применялись небольшие интенсивности ультразвука частотой 800 кгц при местном воздействии на хвост или на область паха. В разные сроки повторных воздействий от озвученных животных брали тонкие поверхностные пленки рыхлой соединительной ткани подкожной клетчатки. Пленки готовили по Максимова, фиксировали в растворе Гелли, окрашивали по Ясвойну. Обнаруживаемые при этом сдвиги напоминают омоложение ткани. В ней происходит увеличение числа молодых клеточных элементов

с хорошо развитой протоплазмой при превалировании эндоплазмы, относительное увеличение эластических волокон. Повышение защитных и трофических функций выражается в гистиоцитарной реакции, увеличении числа фагоцитов, тучных клеток, в усилении жизнедеятельности камбиальных клеток. Количество дезоксирибонуклеиновой кислоты впоследствии увеличивается за счет усиления биосинтеза клеточных белков. Указанные изменения заметны не только на месте воздействия, но в меньшей мере и в отдаленных местах. В свете этих данных напрашивается вопрос о значении биогенных стимуляторов, связанных с воздействием ультразвука. В динамике местных и общих явлений, возникающих при этом, сказывается роль рефлекторных реакций со значением нервно-вегетативного звена. Сначала возникают, по-видимому, парасимпатикотропные изменения, которые затем сменяются нарастающим усилением адапционно-трофических влияний симпатической системы.

Тем самым возникает вполне обоснованный вывод, что ультразвук может действовать не только через орган слуха, но также через всю поверхность тела, помимо каких-нибудь рецепторов. В этом выводе ничего неожиданного нет. Ведь действуют же, помимо специальных рецепторов, радиоактивные излучения и электромагнитные волны, и никто не сомневается в этом. Ультразвук также относится к таким факторам среды, воздействие которых не обязательно связывать с существованием в организме специальных рецепторов.

Вполне определенные данные по этому вопросу были получены нами при проведении опытов с воздействием ультразвука на животных с удаленными или разрушенными барабанными перепонками и слуховыми косточками. Эти опыты ставились на крысах и кроликах. Учитывая важность этих опытов, опишем их более подробно. У крыс барабанные перепонки и слуховые косточки разрушались с помощью специальной иглы со шляпкой на конце диаметром 1 мм. При нажатии концом такой иглы на барабанную перепонку возникал характерный щелчок ее разрыва. При проведении такой операции крыс подвергали общему эфирному наркозу. Последующее патологоанатомическое вскрытие подтвердило, что барабанные перепонки действительно разрушены с полным или частичным разрушением слуховых косточек.

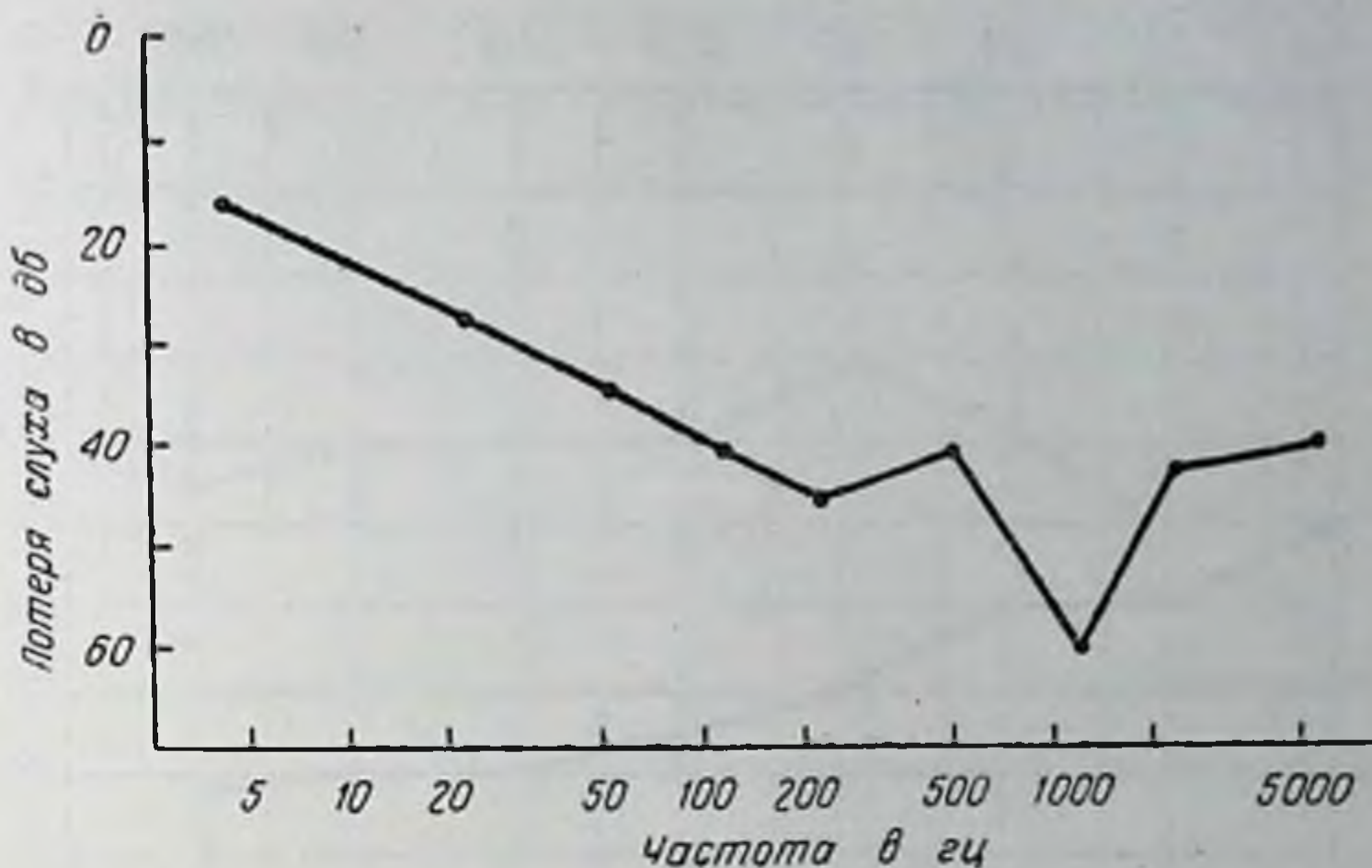


Рис. 43. Состояние слуховой чувствительности при отсутствии барабанной перепонки и слуховых косточек (по А. А. Андрееву, 1941). Нулю соответствует нормальная слуховая чувствительность.

У кроликов эта операция также проводилась под общим наркозом. В освещенный лобным рефлектором слуховой проход проводился специальный режущий инструмент, которым под контролем зрения барабанную перепонку вырезали по краю слухового прохода и вынимали частично с косточками. Патологоанатомическое вскрытие подтвердило наличие указанных повреждений.

Этой операцией достигались две цели: во-первых, понижалась чувствительность органа слуха подопытных животных к шуму, сопровождающему выработку ультразвука в нашей сирене. По данным ряда авторов, на людях такая операция снижает слуховую чувствительность на 20—40 дБ и даже на 40—60 дБ (рис. 43). По мнению некоторых ученых, такая операция снижает чувствительность органа слуха только в отношении низко- и среднечастотных звуков и не влияет на чувствительность к высокочастотным звукам. Наблюдения на людях, описанные Fabian и Möbius (1964), показывают, что даже сравнительно небольшие повреждения барабанной перепонки, как правило, отражаются как на восприятии низко- и среднечастотных звуков, так и на вос-

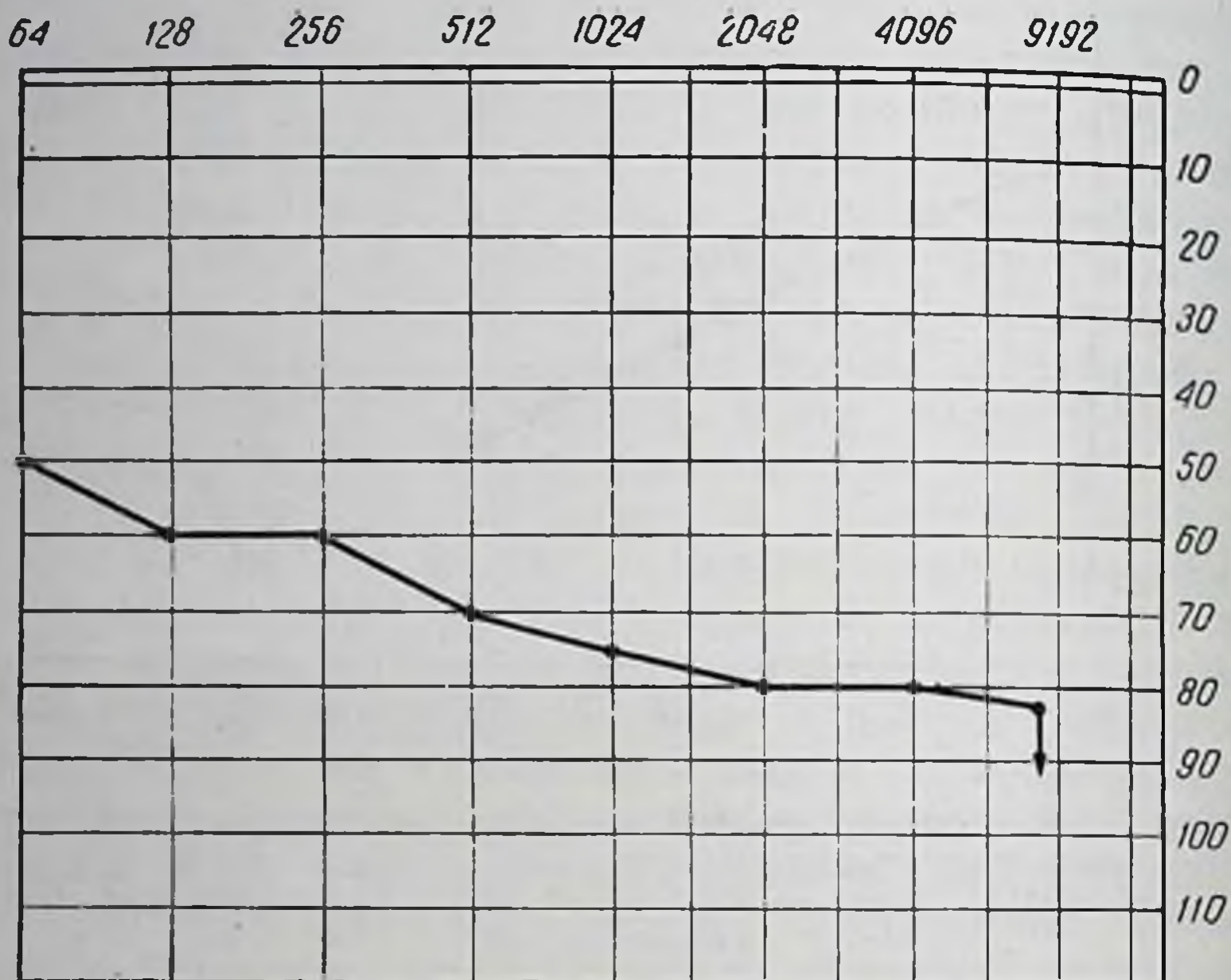


Рис. 44. Состояние слуховой чувствительности при повреждении барабанной перепонки при взрыве газа (по Fabian и Möbius, 1964).

По горизонтали — частота, по вертикали — потеря слуха в децибелах. Внизу показан характер повреждения барабанной перепонки.



приятности высокочастотных. В некоторых наблюдениях снижение чувствительности слуха к высокочастотным звукам было даже большим, чем для более низких частот, и достигло 60—70 дБ. Для иллюстрации этих данных приводим две аудиограммы, опубликованные этими авторами (рис. 44, 45).

Таким образом, эта операция действительно обеспечивала нам исключение воздействия на наших подопытных животных шума, сопровождающего выработку ультразвука сиреной УЗГ-7г, используемой в нашей работе. Как видно из спектрограммы звуковых и ультразвуковых колебаний, генерируемых ею (см. рис. 12), сила

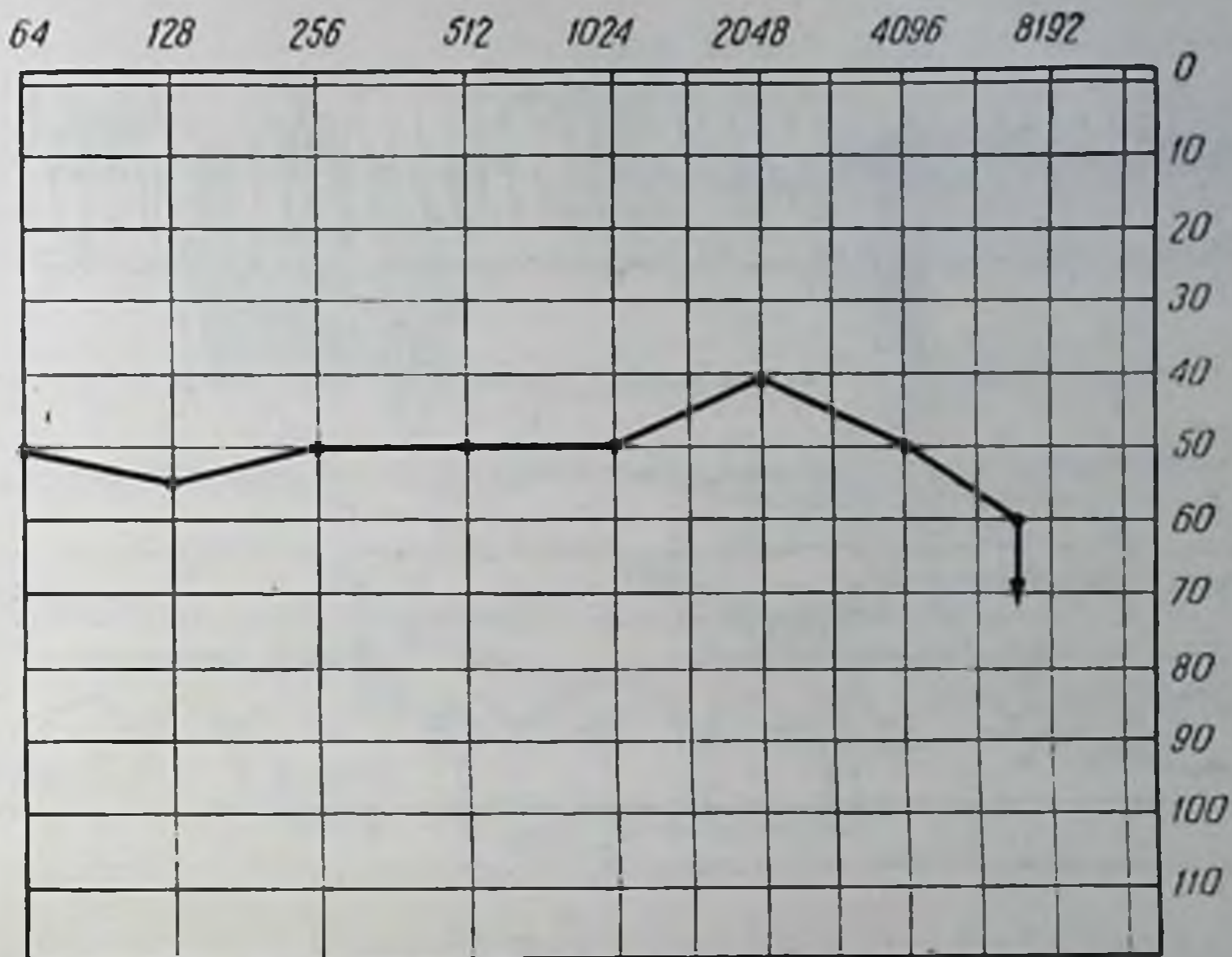


Рис. 45. Состояние слуховой чувствительности при ожоге барабанной перепонки натронной известью (по Fabian и Möbius, 1964).

Обозначения те же, что и на рис. 44. Внизу показан характер повреждения барабанной перепонки.



звук на частотах 10 000 гц составляет 100 дб. Ее снижение на 40—50 дб делает интенсивность шума на этой и других высоких частотах подпороговой.

Не ограничившись учетом данных литературы, мы провели на наших животных дополнительное определение слуховой чувствительности. Для этой цели их помещали в звукоизолированную камеру, куда подавались звуки разной частоты и силы. Порог слуховой чувствительности определялся до и после операции по возникновению ориентировочной реакции. Кроме того, на кроликах определение слуховой чувствительности производилось методом электроэнцефалографии. Как показали

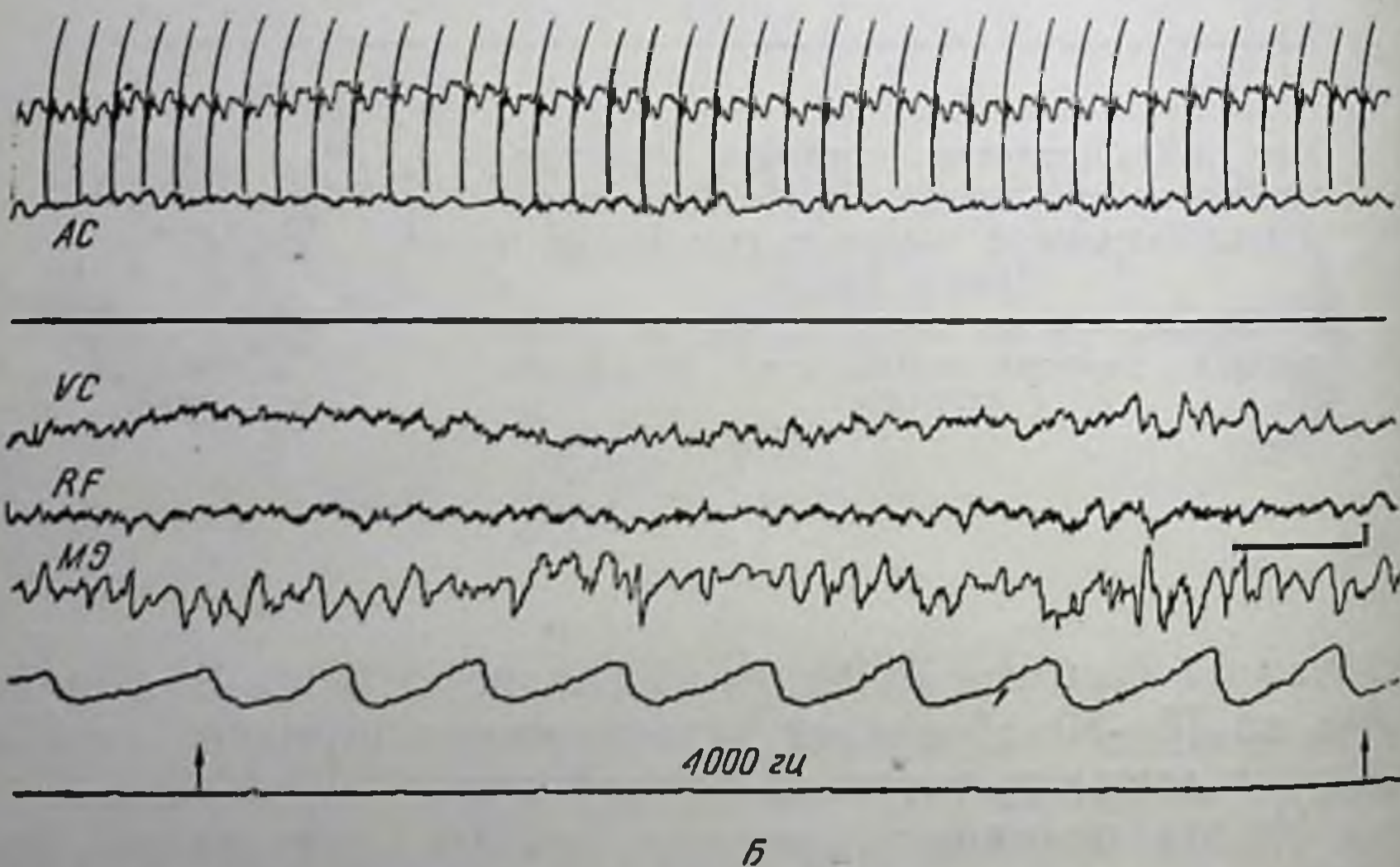
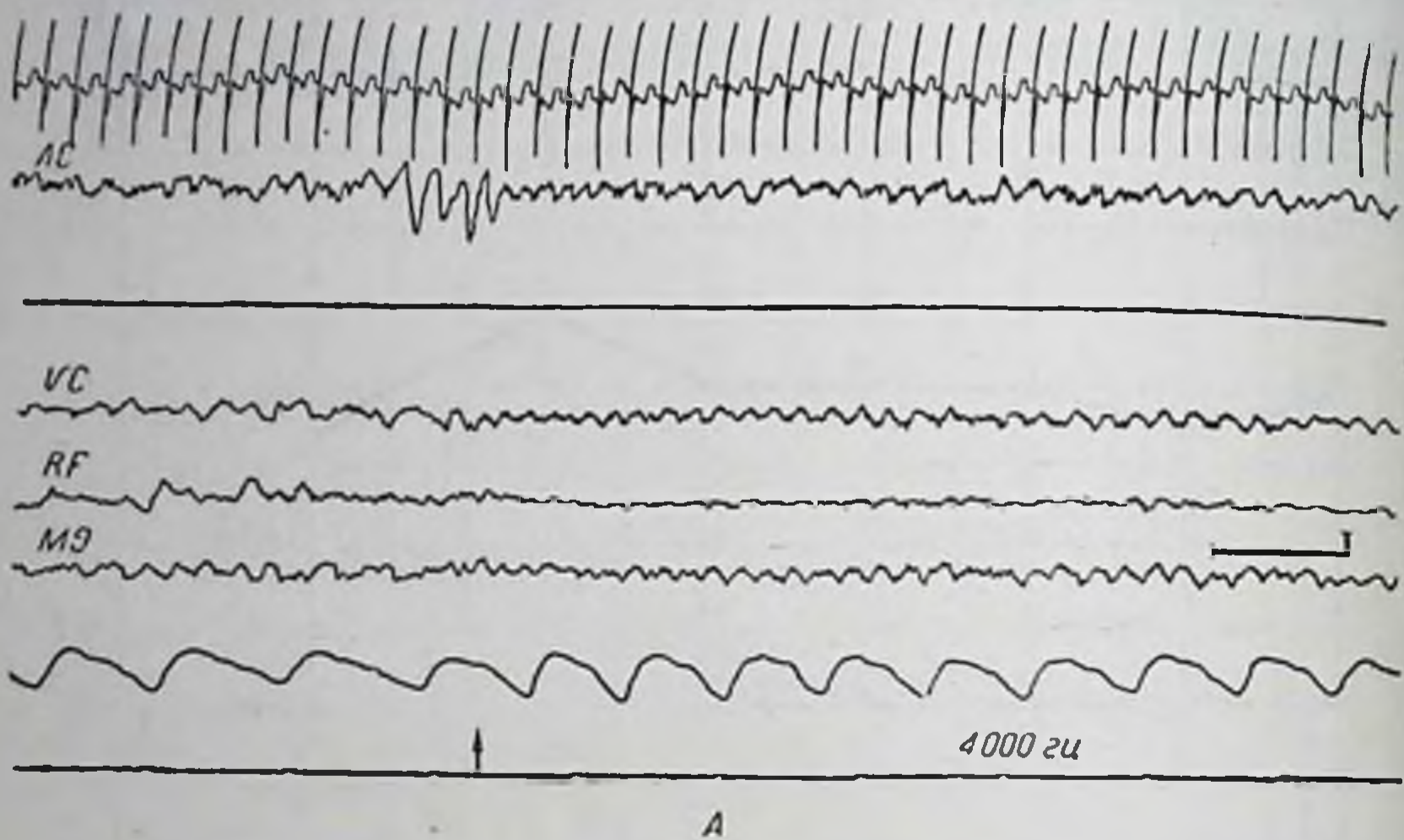


Рис. 46. Характер изменений электроэнцефалограммы кроликов при воздействии звука частотой 4000 гц до (А) и после (Б) удаления барабанных перепонки.

Сверху вниз: ЭКГ — II отведение, правая височная доля (АС), затылочная (VC), средняя область ретикулярной формации (RF), внутреннее коленчатое тело (MG), дыхание, отметка времени раздражения звуком.
Справа масштаб — 25 мкв (И. Ф. Лакеева).

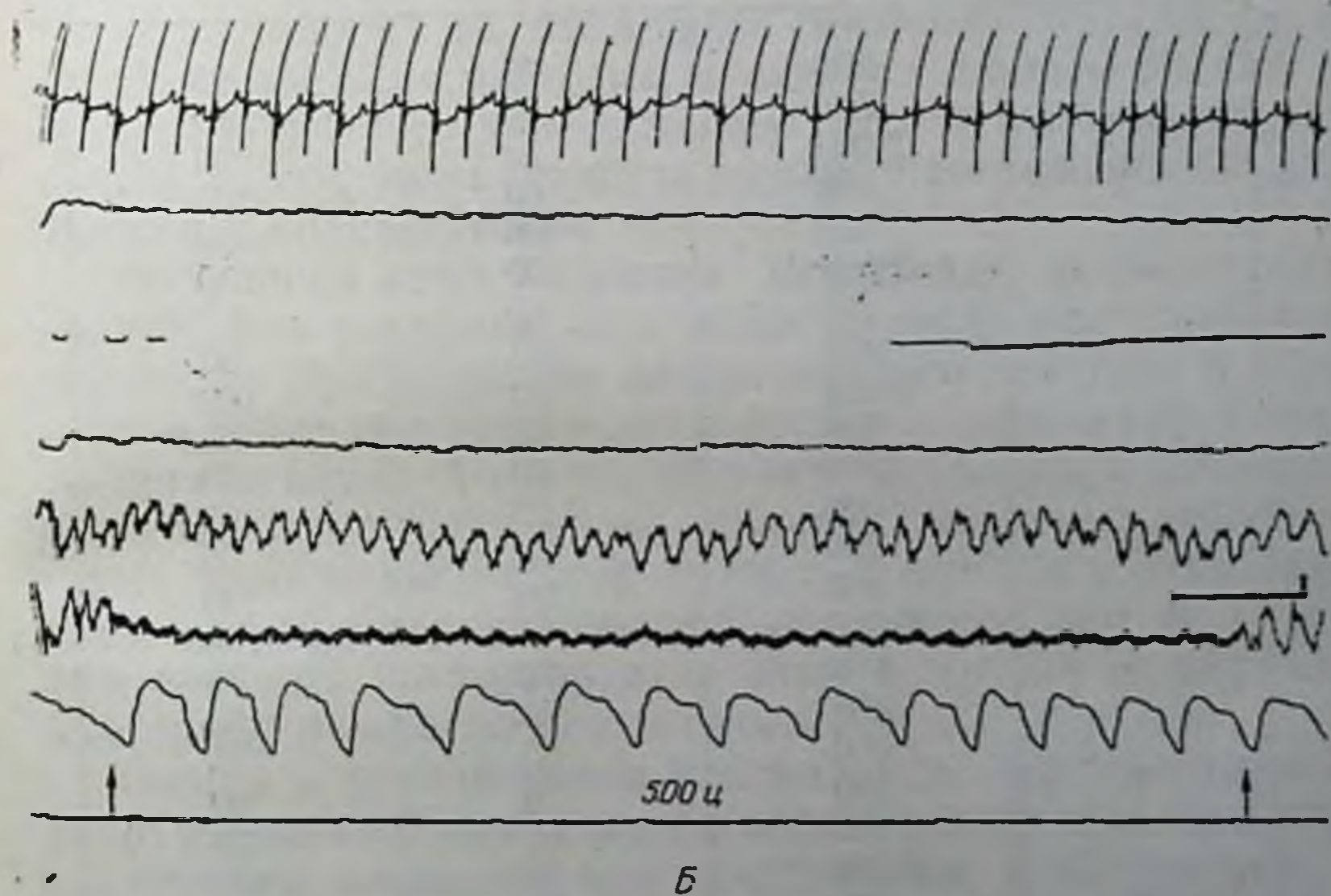
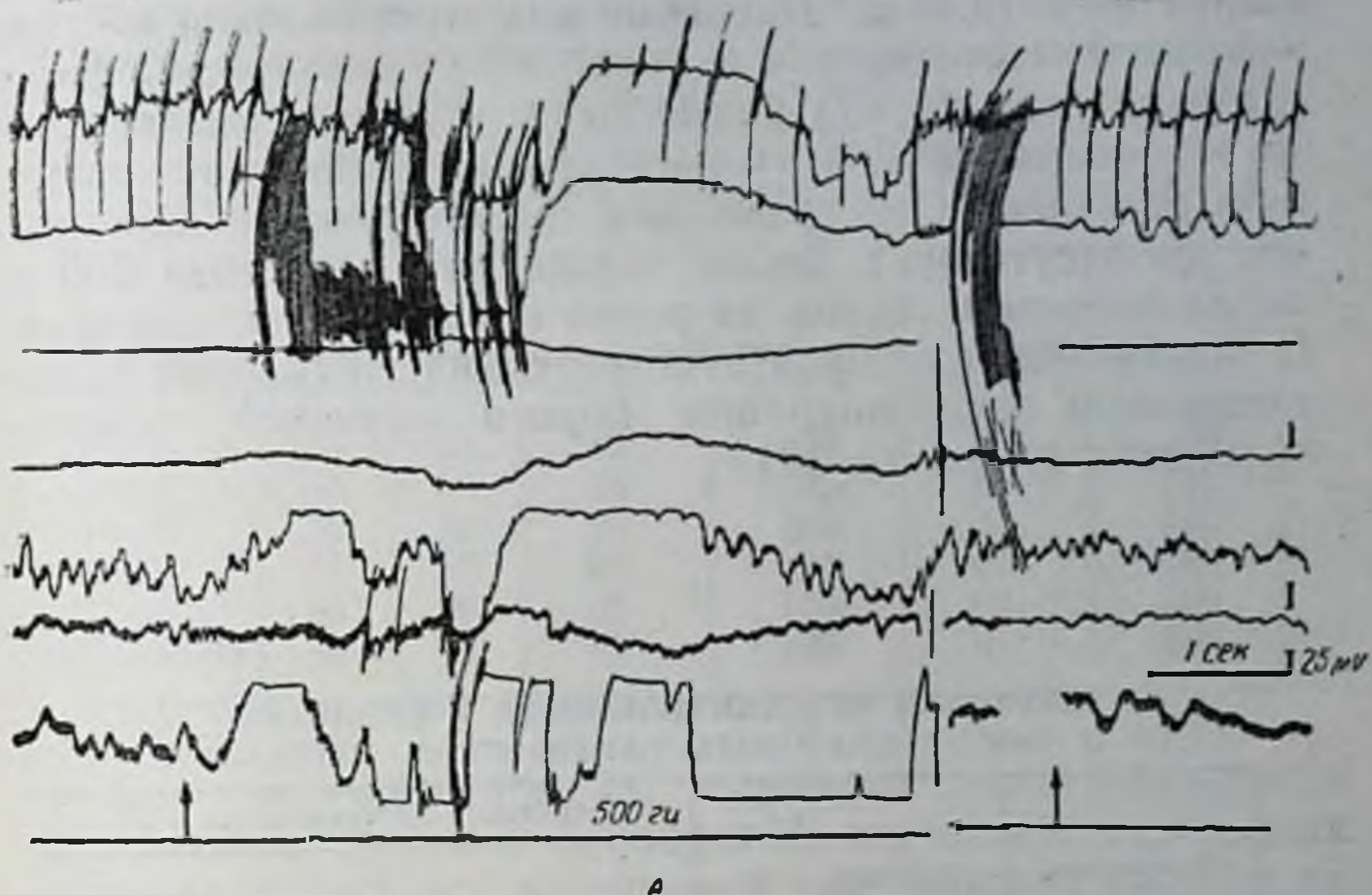


Рис. 47. Характер изменений электроэнцефалограммы кроликов при воздействии звука частотой 500 гц до (А) и после (Б) удаления барабанных перепонки.

Обозначения те же, что и на рис. 46 (И. Ф. Лакеева).

эти измерения, слуховая чувствительность снизилась у наших животных в отношении как максимально воспринимаемой частоты, так и силы. На электроэнцефалограммах (рис. 46, 47) видно, что у кроликов воздействие звуком частотой 4000 гц до операции вызывает заметную реакцию, в то время как после операции она полностью отсутствует. Видно также, что и частота 500 гц после операции вызывает резко ослабленную реакцию. О понижении слуховой чувствительности говорит также повышение после операции порога слуховой чувствительности (табл. 13, 14).

Таблица 13

СЛУХОВАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ У КРОЛИКОВ
ДО И ПОСЛЕ УДАЛЕНИЯ БАРАБАНЫХ ПЕРЕПОНОК¹

№ кролика	Частота в гц	Пороговая интенсивность в дб	
		до операции	после операции
1	200	70	90
	500	60	80
	2 000	70	95
2	200	80	100
	500	70	90
	2 000	70	100
3	200	70	95
	500	60	80
	2 000	80	100
4	200	60	80
	500	60	80
	2 000	70	95
5	200	70	95
	500	60	90
	2 000	75	100
6	200	60	90
	500	50	85
	2 000	65	95
7	200	70	90
	500	60	90
	2 000	80	100
8	200	60	90
	500	60	90
	2 000	70	100

¹ Порог слуховой чувствительности определялся в звукопроницаемой камере по возникновению ориентировочной реакции.

СЛУХОВАЯ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ БЕЛЫХ КРЫС
ДО И ПОСЛЕ РАЗРУШЕНИЯ БАРАБАННЫХ ПЕРЕПОНОК
И СЛУХОВЫХ КОСТОЧЕК

№ крысы	Порог слуховой чувствительности в децибелах					
	частота 1250 гц		частота 5000 гц		частота 10 000 гц	
	до	после	до	после	до	после
	операции		операции		операции	
1	60	85	60	90	65	100
2	55	85	60	95	60	100
3	50	90	55	100	60	100
4	55	85	60	95	65	105
5	55	80	55	100	60	100
6	50	95	55	105	55	105

Как видно из табл. 14, слуховая чувствительность крыс при разрушении барабанных перепонки и слуховых косточек снижалась в среднем на частоте 1250 гц на 31 дб, на частоте 5000 гц — на 40 дб и на частоте 10 000 гц — на 41 дб. Если такое снижение сохраняется и на более высоких частотах, а судя по данным Fabian и Möbius (1964) это действительно так, то ультразвук частотой 54 кгц, интенсивность которого составляет 135 дб, окажется подпороговым.

Избранная нами операция исключает возможность воздействия ультразвука в надпороговой дозе через орган слуха. Обнаружение биологического действия в этом случае будет говорить о воздействии ультразвука, помимо органа слуха. Хотя это обстоятельство было доказано нами выше в опытах с озвучиванием животных, уши которых защищались антифонами, и в опытах с озвучиванием при экранировке головы (см. ниже), тем не менее нам хотелось повторить этот опыт в другой модификации ввиду важности его результатов.

Опыты с воздействием ультразвука на животных с разрушенными барабанными перепонками и слуховыми косточками показали, что их результат в общем такой же, как и при воздействии ультразвука на интактных животных. Шесть крыс с удаленными барабанными перепонками и слуховыми косточками подвергались однократному воздействию ультразвуком частотой 54 кгц и интенсивностью 135 дб. Результаты озвучивания пред-

ставлены на рис. 48. Как видно из этого рисунка, скрытое время безусловнорефлекторной оборонительной реакции у всех крыс менялось после озвучивания по типичной двухфазной кривой, с первой фазой в день озвучивания и со второй фазой, приходящей на 3—7-й день. Сопоставление этой кривой с кривыми однократных озвучиваний крыс с сохраненными барабанными перепонками показывает, что они несколько отличаются друг от друга. Отличия заключаются в том, что первая фаза изменений скрытого времени у крыс с разрушенными барабанными перепонками и слуховыми косточками выражена слабее. В связи с этим напомним, что при выяснении причин возникновения двухфазных изменений под влиянием ультразвука в отношении первой фазы было высказано предположение, что она возникает за счет двух причин: непосредственного первичного воздействия ультразвука и воздействия шума, сопровождающего выработку ультра-

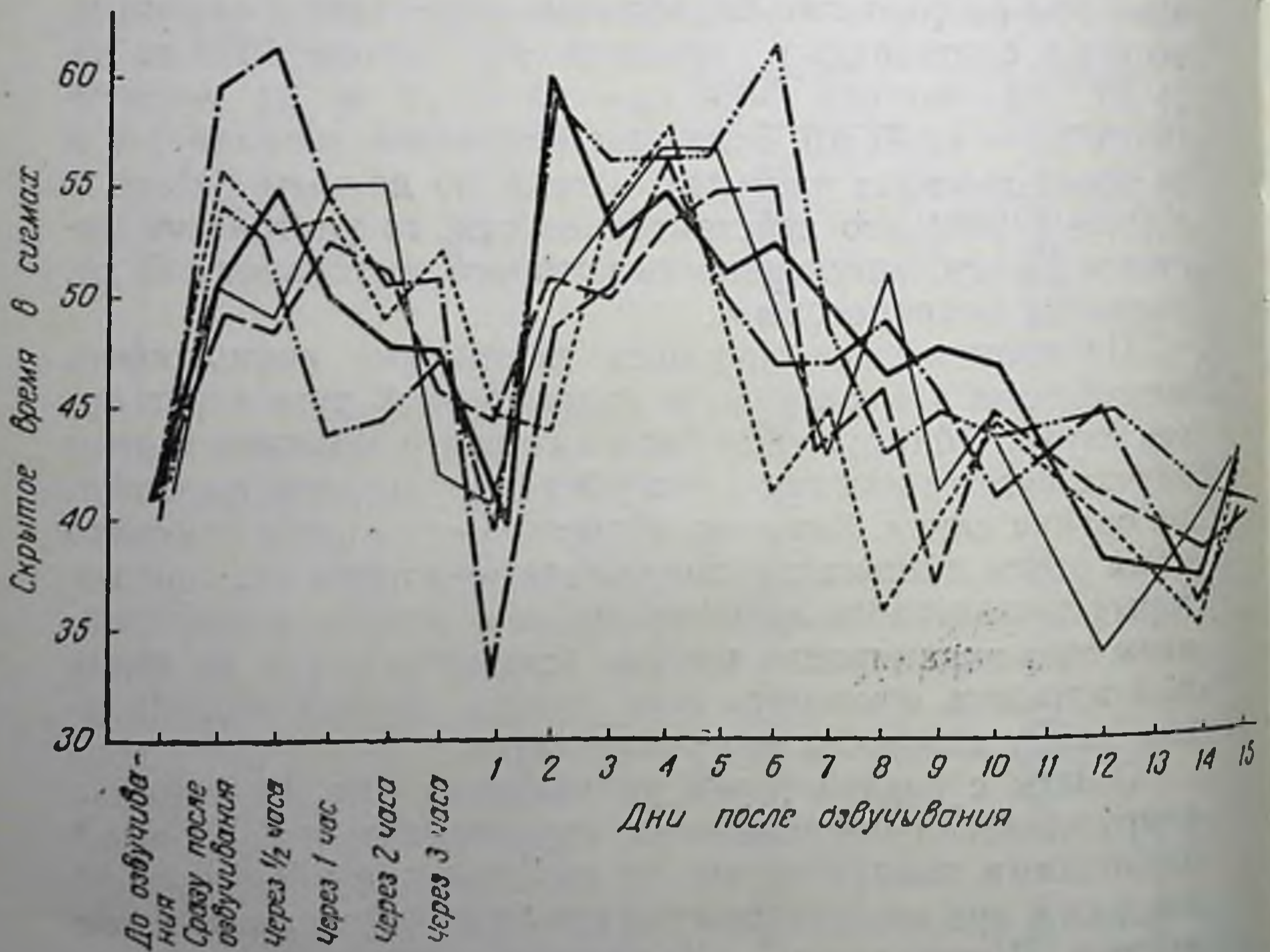


Рис. 48. Динамика скрытого времени у белых крыс с разрушенными барабанными перепонками после однократного воздействия ультразвука (54 кгц, 135 дб, 1 час). (Индивидуальные кривые).

звуча в нашей стране. При озвучивании крыс с разрушенными барабанными перепонками и слуховыми косточками воздействие шума исключено, с чем и можно будет связать уменьшение выраженности первой фазы сдвигов скрытого времени.

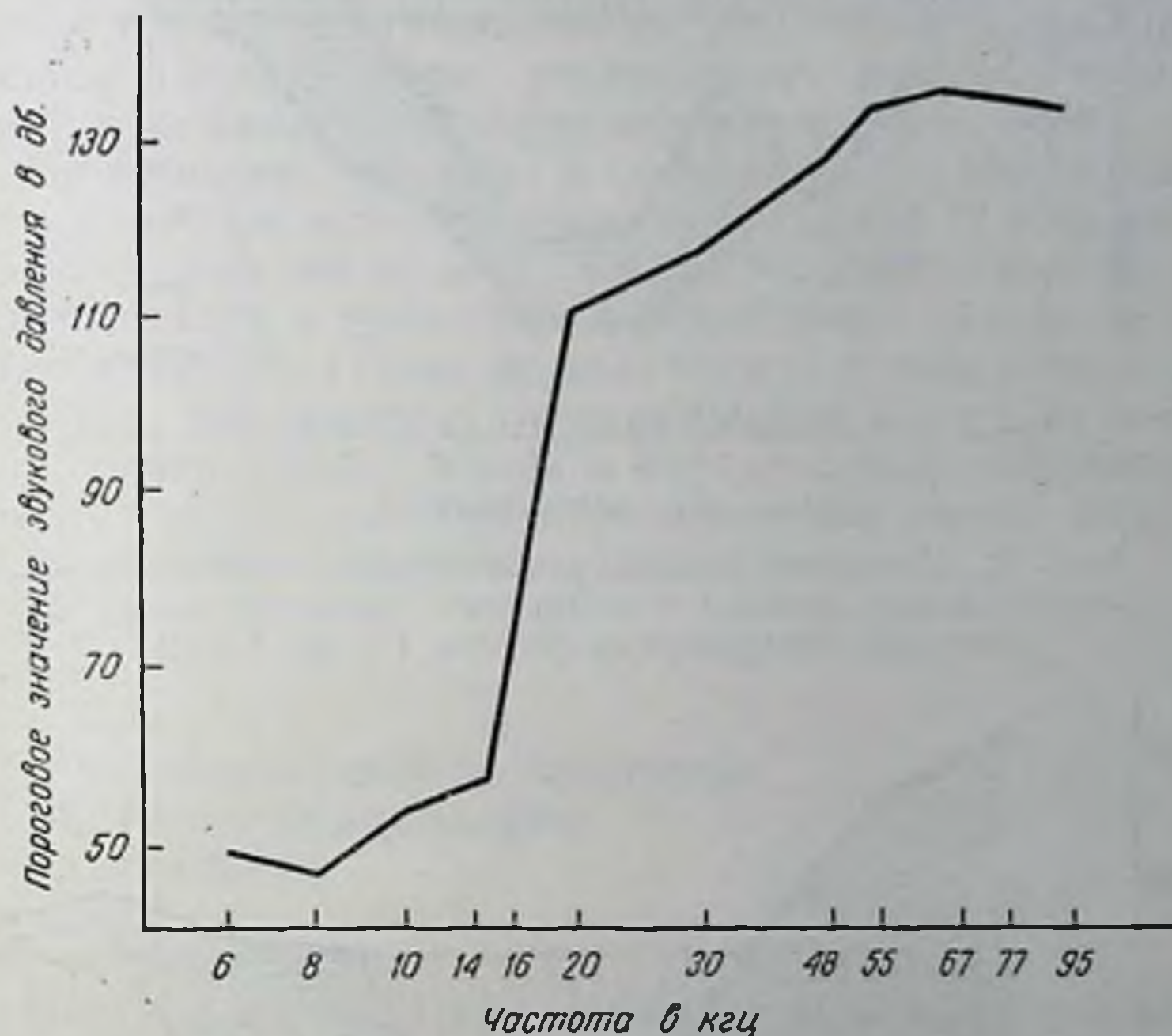


Рис. 49. Порог слухового восприятия ультразвуков при костной проводимости (по Corso, 1963).

Из этого опыта вполне очевидно в то же время, что устранение возможности воздействия ультразвука через орган слуха не отразилось на изменении скрытого времени.

В связи с этим может возникнуть вопрос о возможности воздействия ультразвука в этом опыте в порядке костной проводимости. Однако эта возможность в нашем опыте также исключена. По данным Corso (1963), исследовавшего костную проводимость ультразвука, видно (рис. 49), что уже для частоты 20 кГц порог костной проводимости составляет 110 дБ, а для частоты 50—55 кГц он повышается до 135—140 дБ. Это означает,

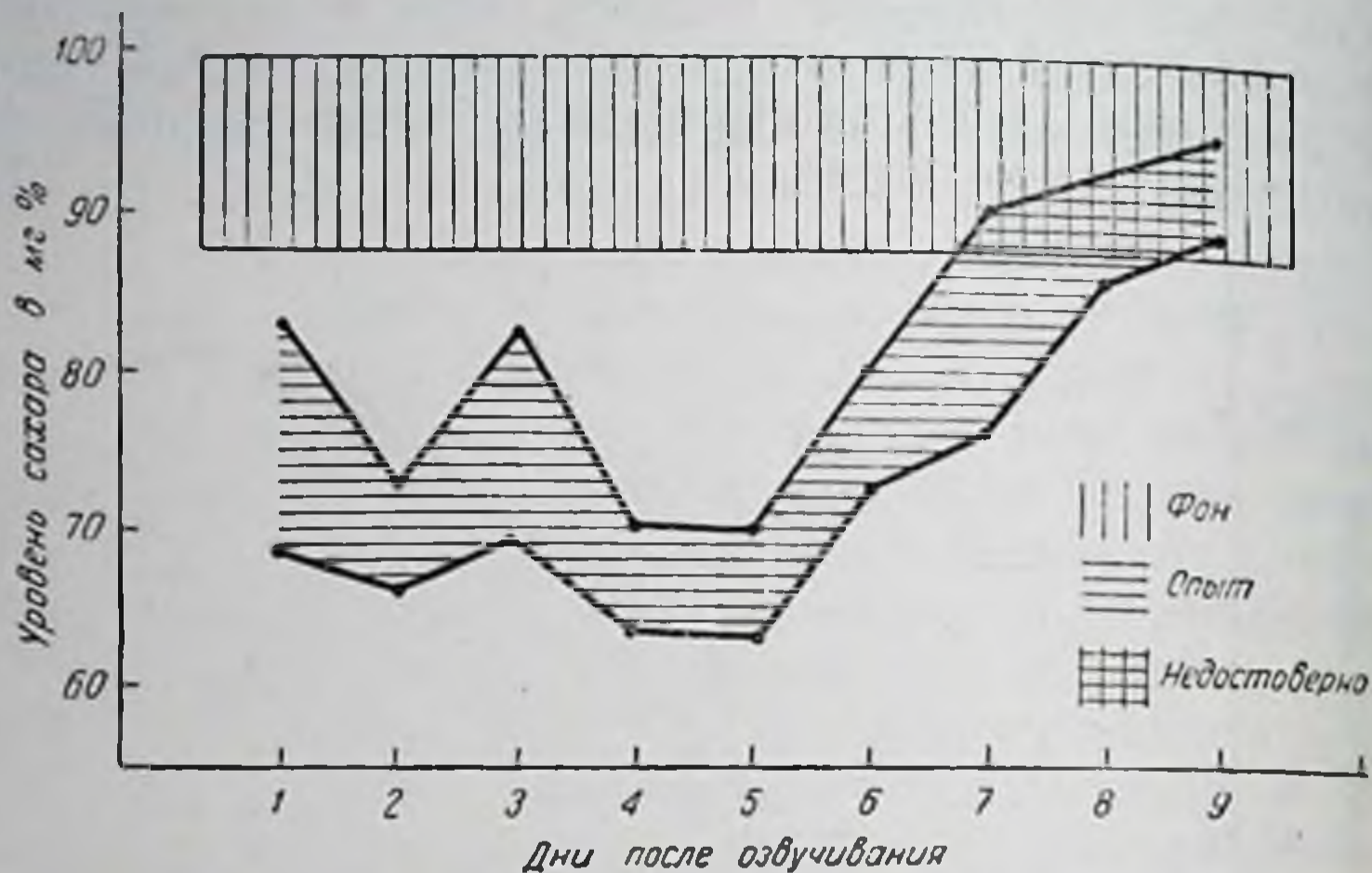


Рис. 50. Изменение уровня сахара крови (статистически обработанные данные) у интактных кроликов после воздействия ультразвуком (54 кгц, 130 дб, 1 час).

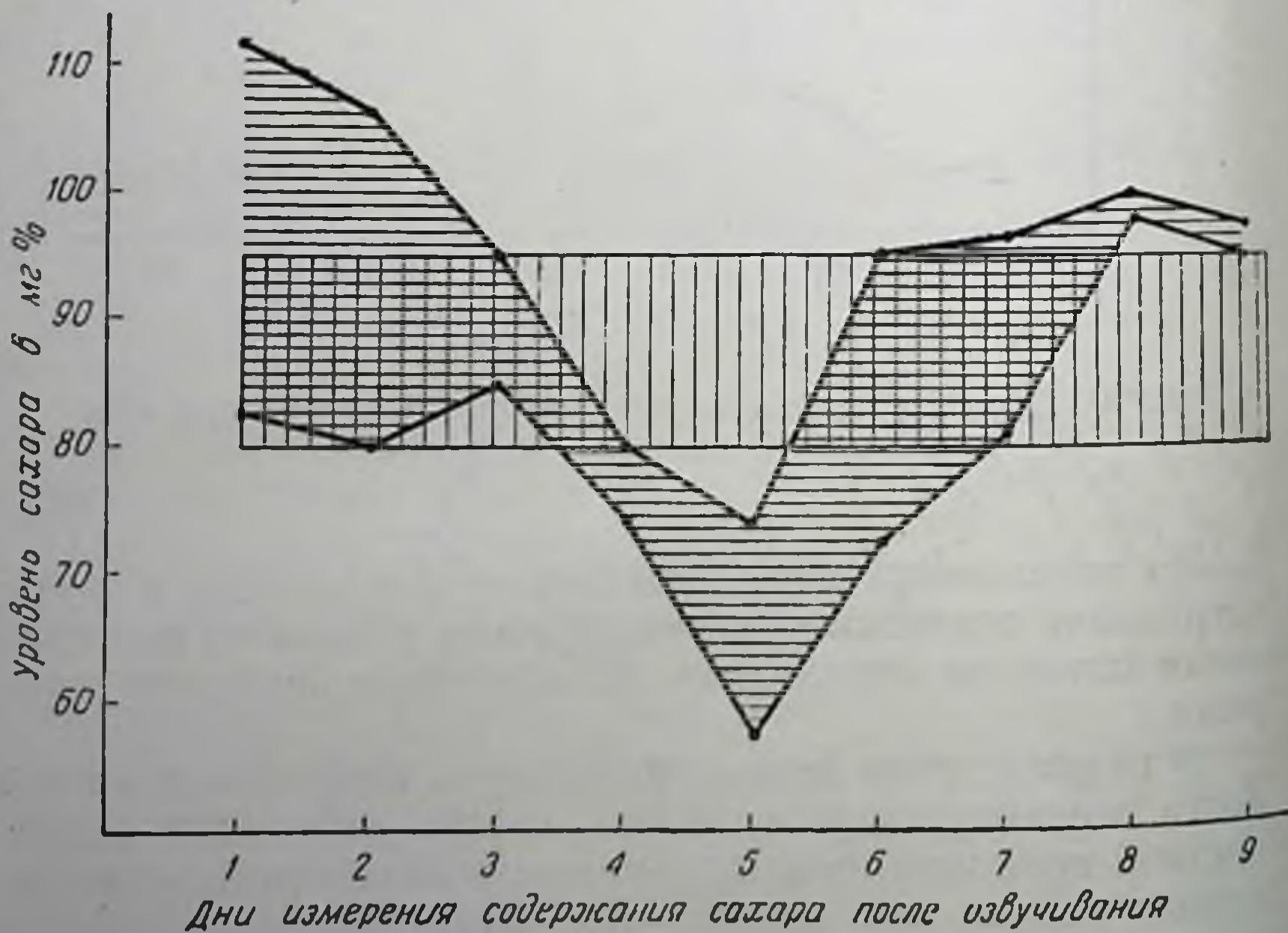


Рис. 51. Изменение уровня сахара крови (статистически обработанные данные) у кроликов с удаленными барабанными перепонками после воздействия ультразвуком (54 кгц, 130 дб, 1 час).
Обозначения те же, что и на рис. 50.

что примененная нами интенсивность ультразвука вообще находится в области подпороговых для костной проводимости.

Таким образом, изменения в величине скрытого времени у крыс, представленные на рис. 48, должны быть связаны с воздействием ультразвука, помимо органа слуха, т. е. фактически через всю поверхность тела.

Аналогичные данные в опытах Р. М. Никольской были получены и в отношении биохимических показателей. Для примера на рис. 50, 51 показано изменение уровня сахара в крови после воздействия ультразвука (54 кгц, 130 дб, 1 час) на интактных и оперированных кроликов. Видно, что у оперированных животных величина сдвига уровня сахара в первую фазу выражена слабее, чем у интактных, в то время как вторая фаза в обоих случаях совершенно одинакова.

2. НЕРАВНОЦЕННОСТЬ ОБЩЕГО И МЕСТНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА

Выше были сообщены данные о различных проявлениях биологического действия ультразвука. Упомянулись также данные гигиенистов (З. С. Лисичкина, 1963) и клиницистов (Н. А. Ефимов, В. С. Лукьянов, 1963, 1964) о физиологических сдвигах и клинических проявлениях воздействия ультразвука у лиц, обслуживающих промышленные ультразвуковые установки. Наряду с этим есть сообщения, в которых говорится, что при экспериментальном воздействии ультразвука на человека не обнаружено каких-либо признаков биологического действия ультразвука (В. М. Григорьева).

Возникает необходимость эти разногласия объяснить. Известно, что результат целого ряда воздействий зависит от того, было ли оно общим (диффузным) или только локальным. Это общеизвестно в отношении радиоактивных излучений. Сейчас это также установлено в отношении вибрации (А. С. Мелькумова, 1960—1962). Есть аналогичные данные и в отношении магнитных полей (А. М. Вялов, 1962).

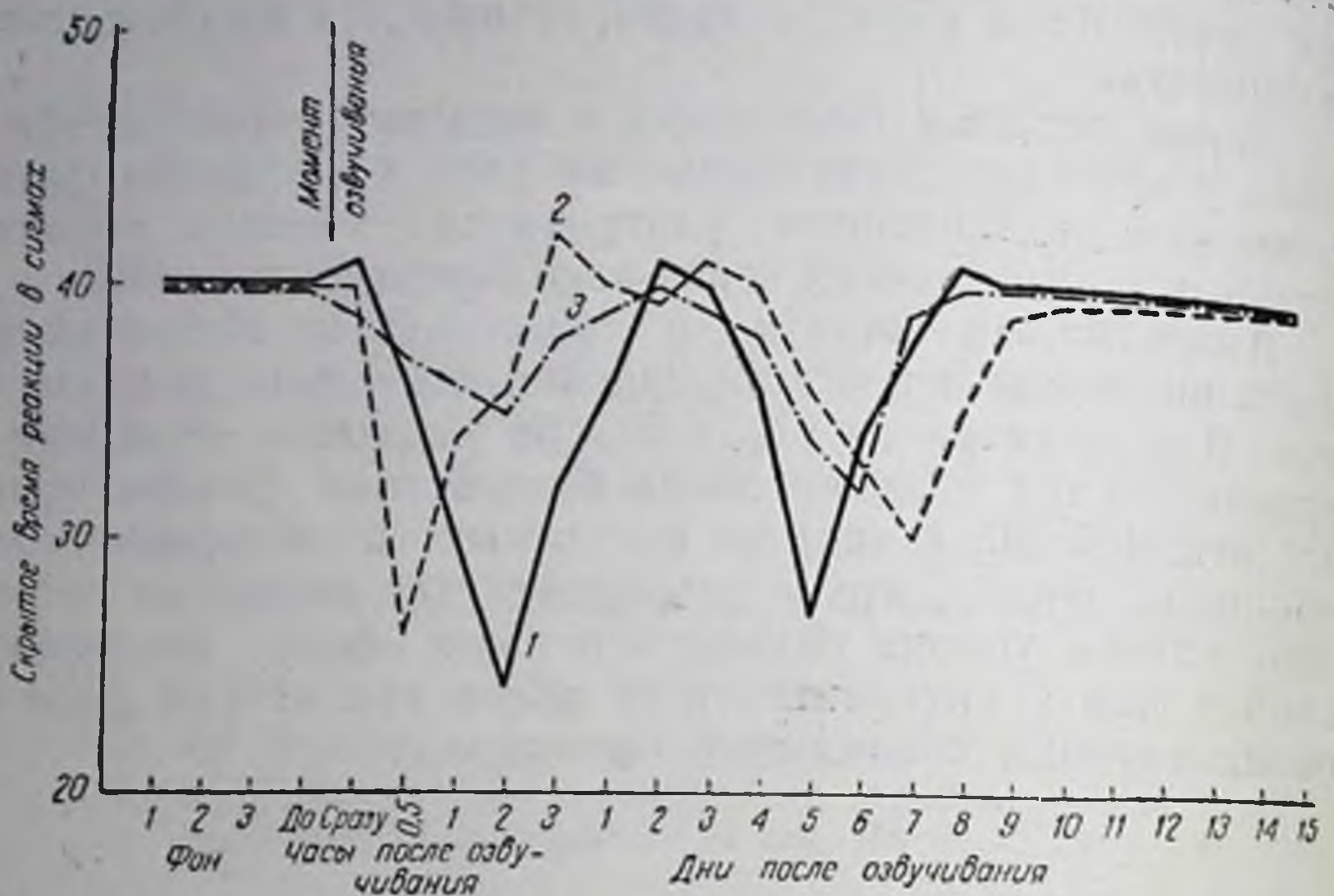


Рис. 52. Характер изменения скрытого времени у крыс при разных способах воздействия ультразвуком (частота 54 кгц, интенсивность 130 дб, экспозиция 1 час).

1 — общее озвучивание; 2 — озвучивание головы; 3 — озвучивание задней половины туловища, лапок и хвоста.

Разные результаты воздействия ультразвука в некоторой части наблюдений, по-видимому, связаны с различным способом воздействия ультразвука (общее или местное). Так, например, в отношении упомянутых выше данных В. М. Григорьевой можно предполагать, что отсутствие в ее опытах с озвучиванием человека изменений связано с тем, что ею было применено локальное озвучивание (через воздушную среду), направленное на голову (область уха).

Нами получены в этом отношении вполне определенные экспериментальные данные. На рис. 53 представлены изменения скрытого времени рефлекса при различных способах применения ультразвука.

Облучалось либо все животное (в камере из проводочной сетки), либо частично (тогда часть тела была защищена сукном). Видно, что при местном воздействии ультразвука изменения скрытого времени выражены в меньшей степени, чем при общем. При этом заметно, что озвучивание головы дает более выраженные сдвиги.

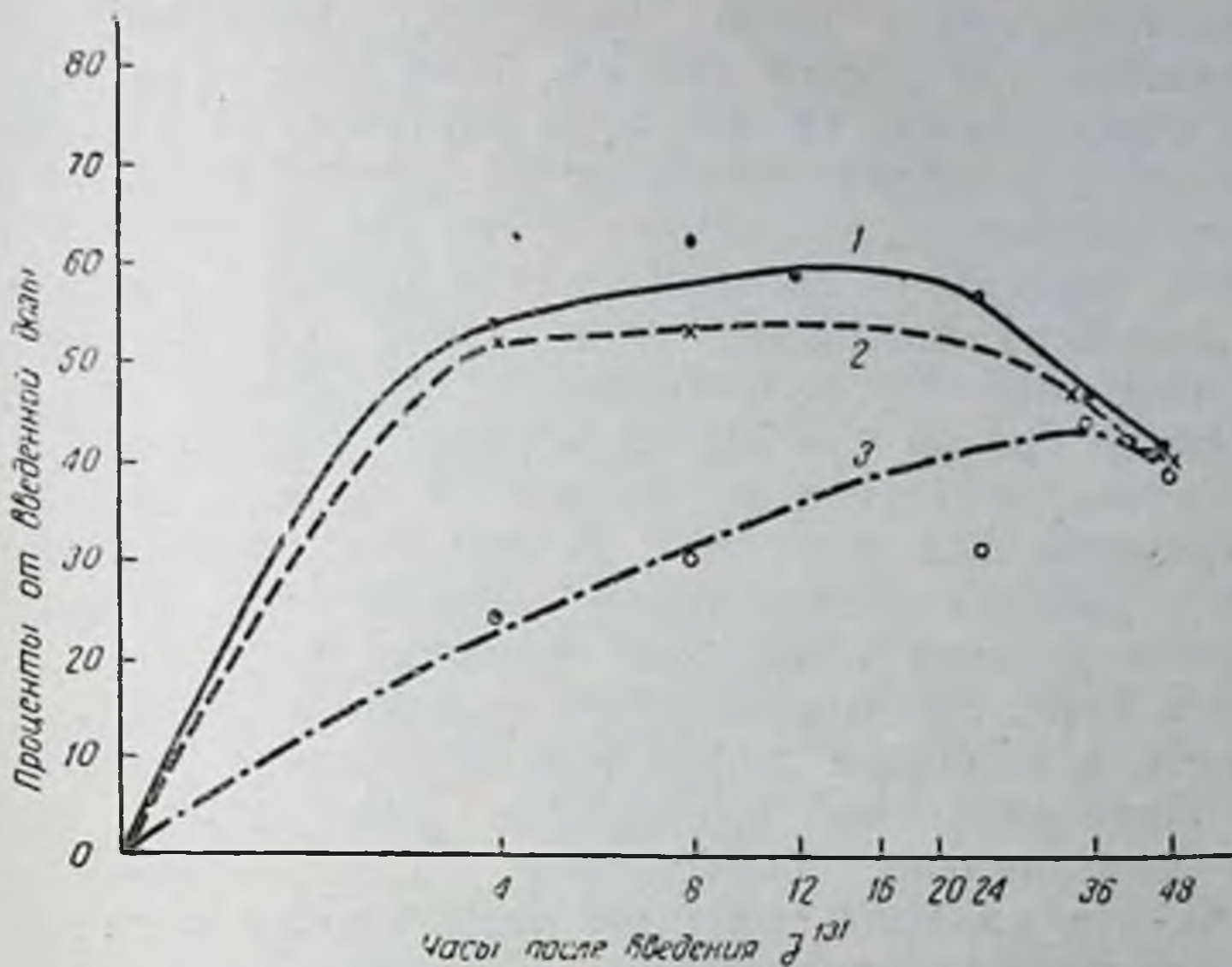


Рис. 53. Динамика накопления йода-131 в щитовидной железе белых крыс при разных способах воздействия ультразвуком. 1 — в контроле; 2 — озвучивание головы; 3 — общее озвучивание.

чем озвучивание задней части тела и хвоста. Весьма существенно также, что общее озвучивание сквозь металлическую сетку дает менее выраженное изменение величины скрытого времени, чем при воздействии ультразвука на крыс, помимо металлической сетки в свободном ультразвуковом поле. Это отчетливо видно из сравнений рис. 22 и 52.

На рис. 53 показано различие местного и общего озвучивания в отношении йодфиксирующей функции щитовидной железы. Видно, что общее озвучивание (54 кгц, 130 дб, 1 час) вызывает резкое изменение этой функции, в то время как результат озвучивания головы почти не отличается от контроля.

Вопрос об особенностях общего и местного воздействия ультразвука имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение. В производственных условиях лица, обслуживающие промышленные ультразвуковые установки, находятся на работе в личной и в той или иной спецодежде в зависимости от специфических условий производства. Как мы уже видели, даже

хлопчатобумажная ткань поглощает низкочастотный ультразвук. По нашим данным, один слой бязи ослабляет интенсивность проходящего ультразвука в среднем на 4 дб. В условиях производства одежда каждого рабочего состоит из нескольких слоев ткани, часто более грубой, чем бязь. В среднем за счет личной и спецодежды возможно ослабление ультразвука на 15—20 дб, т. е. снижение его интенсивности от уровня в 115—120 дб до уровня 95—100 дб, а часто и меньшего. Как мы видели, этот уровень близок к порогу действия ультразвука для животных. В производственных условиях у рабочих подвергаются воздействию интенсивного ультразвука в основном открытые части тела, т. е. лицо и руки. Это означает, что фактически имеется локальное, а не общее диффузное воздействие ультразвука. Локальное же воздействие ультразвука вызывает значительно ослабленные биологические эффекты, что, конечно, облегчает возможность применения низкочастотного ультразвука в промышленных целях. Таким образом, практическое значение вопроса об особенностях общего и локального воздействия ультразвука теснейшим образом связано с вопросами защиты. Представления об этих особенностях являются теоретической основой для разработки профилактических мероприятий.

Вопрос об особенностях общего и локального действия ультразвука имеет еще одно практическое значение, а именно для расшифровки физиологических сдвигов, наблюдающихся у лиц, работающих на производстве по обслуживанию ультразвуковых установок.

При изучении изменений ритма сердца и дыхания под влиянием ультразвука в эксперименте на кроликах при диффузном воздействии ультразвука у кроликов обнаружено учащение ритма сердца и урежение ритма дыхания. То же наблюдается при воздействии ультразвука на туловище при экранировке головы. Но если заэкранировать все тело и подвергнуть воздействию ультразвука и звукового компонента сирены только голову, то ритм сердца замедляется.

Такой результат может быть истолкован в том смысле, что при совместном воздействии ультразвука и шума на все тело, включая и голову, ультразвук вызывает более выраженные последствия, чем шум, так как

действует через всю поверхность тела. При воздействии же шума и ультразвука только на голову условия для восприятия энергии ультразвука ухудшаются (все тело заэкранировано), и в силу этого начинает преобладать действие шума, для восприятия которого поверхность тела роли не играет. При таком понимании этих опытов приобретает значение следующее обстоятельство.

При изучении действия шума на различные физиологические показатели было выяснено, что под влиянием его больших интенсивностей (100—105 дб) скрытое время реакций на звук и свет возрастает, частота пульса урежается, температура кожи повышается, капиллярное кровообращение в коже усиливается (С. И. Горшков и С. С. Вишневская, 1959). Данные этих авторов подтверждены А. А. Аркадьевским (1962). Все эти симптомы были обнаружены гигиенистами (З. С. Лисичкина, 1960) и клиницистами (Н. А. Ефимов, А. Г. Генкин, 1961, 1963) у рабочих, обслуживающих промышленные ультразвуковые установки. Так как на производстве уровень действующих шумов довольно высокий (до 120 дб) и так как ультразвук воздействует преимущественно локально (только на открытые части тела — лицо, руки), то при существующих его уровнях (до 120 дб) можно ожидать, что в условиях производства будет действовать преимущественно шум, в то время как ультразвук будет в области, близкой к порогу действия или даже в области подпороговой интенсивности, и, следовательно, сдвиги, возникающие за его счет, будут минимальными. Отсюда становится понятной симптоматика сдвигов, обнаруженных у рабочих, обслуживающих ультразвуковые установки на производстве. Она действительно преимущественно шумовая и только в редких случаях ультразвуковая.

3. ЗАВИСИМОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА ОТ ИСХОДНОГО СОСТОЯНИЯ ОРГАНИЗМА

В физиологической и патофизиологической литературе приводятся многочисленные данные о значении исходного состояния организма при том или ином воз-

действии на него. С этой точки зрения можно рассматривать и общеизвестные данные о влиянии некоторых защитных веществ на поражающее действие радиоактивных излучений. Так, введение наркотических веществ, изменяя состояние центральной нервной системы, увеличивает выживаемость животных, облученных смертельной дозой. Например, в опытах Patterson и Figge (1952) внутрибрюшинные инъекции пентобарбитала натрия в дозе 0,05 мг/кг уменьшали гибель облученных животных по сравнению с контролем. Kahn (1951) обнаружил защитное действие введения раствора сульфата морфина. Защитное действие нембутала было обнаружено Henry. Наряду с этим Kimeldorf, Janes и Castanega (1953) приводят данные о том, что воздействие радиоактивных излучений на фоне дополнительной физической нагрузки имеет в качестве следствия увеличение смертности мышей. Таким же следствием характеризуется предварительное введение мышам гормона щитовидной железы, повышающего общую активность животных. По-видимому, во всех этих опытах изменение резистентности к облучению было связано с изменением общего состояния организма.

В свете этих данных представляет интерес изучить особенности биологического действия ультразвука в зависимости от исходного состояния озвучиваемых животных. Следует указать на то, что наши ссылки на зависимость биологического действия радиоактивных излучений от исходного состояния не случайны. Нами приводились уже данные о том, что в основе биологического действия ультразвука лежат также процессы изменения состояния внутренней среды озвучиваемых организмов в виде возникновения, в частности, активных химических радикалов. Это сближает механизмы биологического действия радиоактивных излучений и ультразвука. Изучить роль исходного состояния организма для его реакции на воздействие ультразвука важно еще и потому, что рабочие на производстве подвергаются воздействию ультразвука на фоне тех или иных изменений состояния организма. Мы провели следующие опыты.

Опыт № 1 — воздействие ультразвука на фоне введения нембутала.

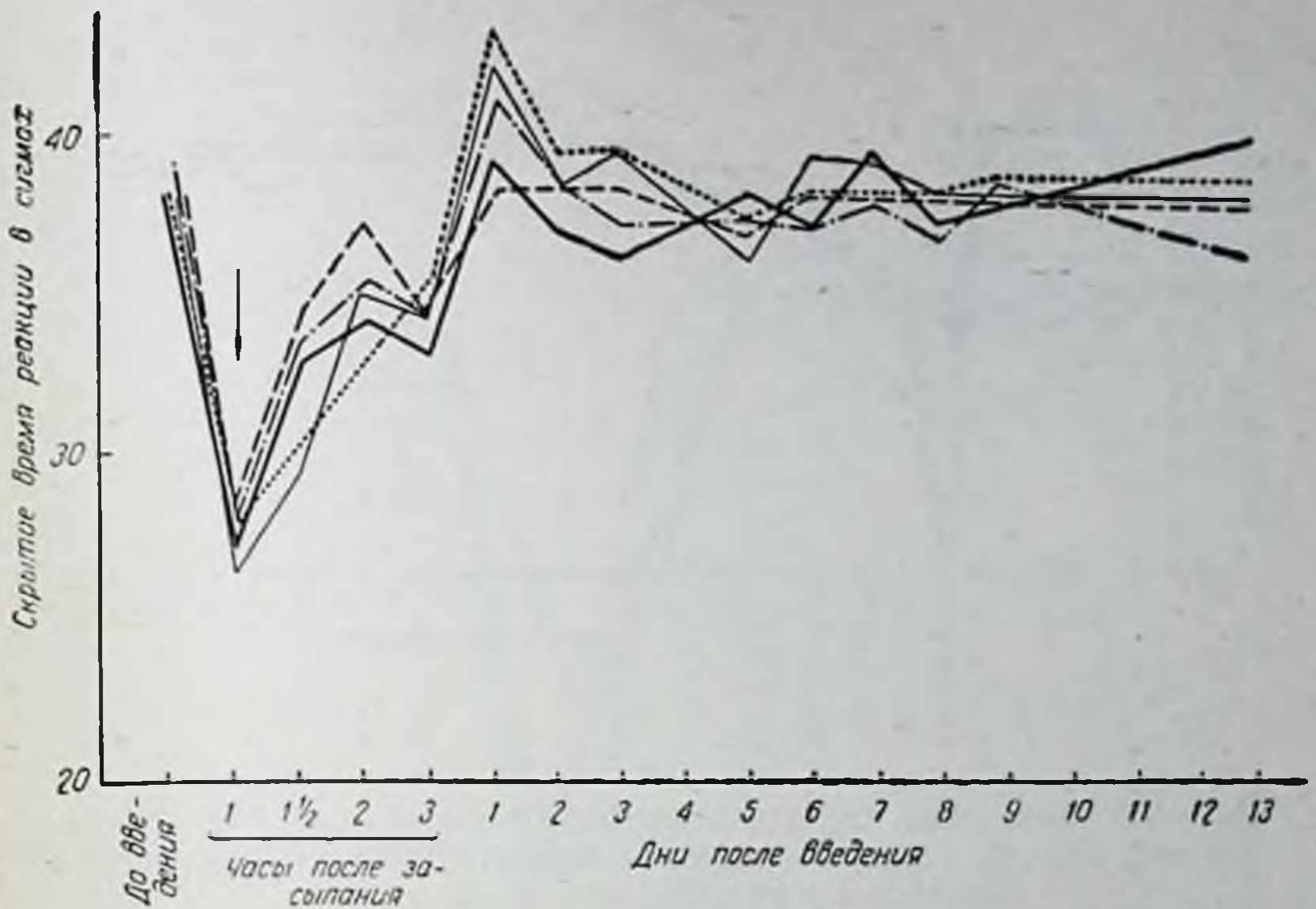


Рис. 54. Изменение скрытого времени у крыс после введения нембутала (2 мг на крысу).

Стрелка — начало пробуждения (индивидуальные кривые).

Опыт № 2 — воздействие ультразвука на фоне введения кофеина.

Опыт № 3 — воздействие ультразвука на фоне предварительной физической нагрузки.

В опыте № 1 исследовались три группы крыс по 6 животных в каждой. Крысы первой группы подвергались общему воздействию ультразвуком (54 кгц, 130 дб, 1 час). Крысы второй группы подвергались воздействию только в виде введения 0,04% раствора нембутала в количестве 2 мл на крысу. Эта доза нембутала вызывала наркотический сон крыс, продолжавшийся 1—2 часа. Крысы третьей группы подвергались воздействию ультразвука (54 кгц, 130 дб, 1 час) в состоянии наркотического сна от указанной выше дозы нембутала. Результаты этого опыта представлены на рис. 54 и 55. Из этих рисунков видно, что пробуждение крыс от введения нембутала характеризуется постепенным возвращением скрытого времени к исходному уровню в течение 3 часов после введения нембутала. В последующие дни каких-

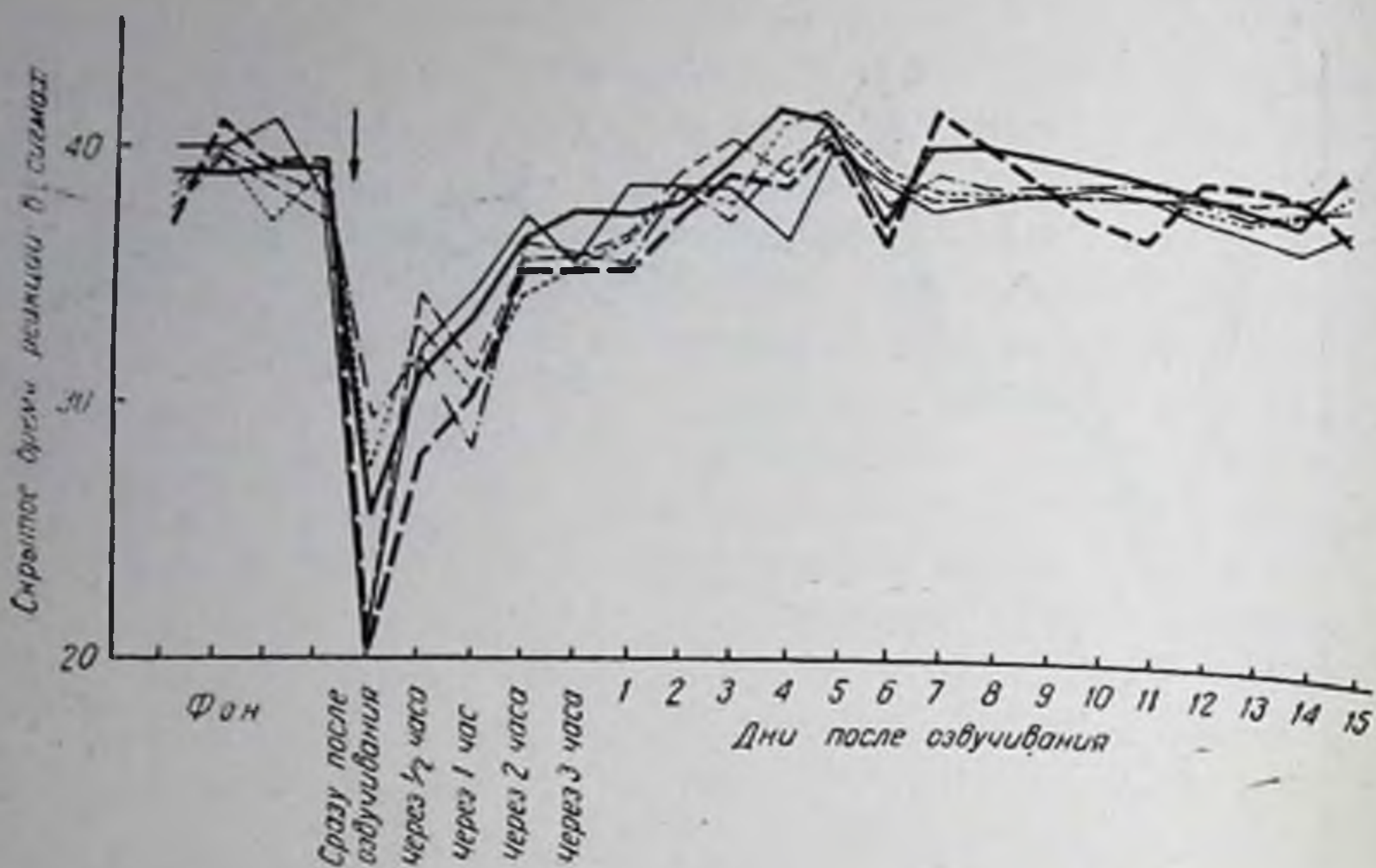


Рис. 55. Изменение скрытого времени у крыс при озвучивании (54 кгц, 135 дб, 1 час) в состоянии наркотического сна (введение нембутала в количестве 2 мг на крысу).

Стрелка — начало пробуждения (индивидуальные кривые).

либо заметных изменений в величине скрытого времени не отмечается. Озвучивание крыс в состоянии наркотического сна приводит к тому, что у них после просыпания скрытое время также постепенно возвращается к исходному уровню. Однако в таком случае этот процесс заканчивается на 2—3-й день после озвучивания.

Особенно характерным является то, что вторая фаза действия ультразвука выявляется при этом только в виде едва заметного западения кривой скрытого времени. Если мы не можем ничего сказать об изменении первой фазы сдвигов, так как она по времени совпадает с действием самого нембутала, то в отношении второй фазы вывод вполне очевиден — она фактически исчезла. Следовательно, по отсутствию проявлений изменений в величине скрытого времени во вторую фазу можно сказать, что воздействие ультразвука на фоне наркотического сна приводит к отчетливому ослаблению биологического действия ультразвука (см. рис. 50, 1).

В опыте № 2 изучались также три группы крыс по 6 в каждой. Крысы первой группы подвергались только общему воздействию ультразвуком. Крысам вто-

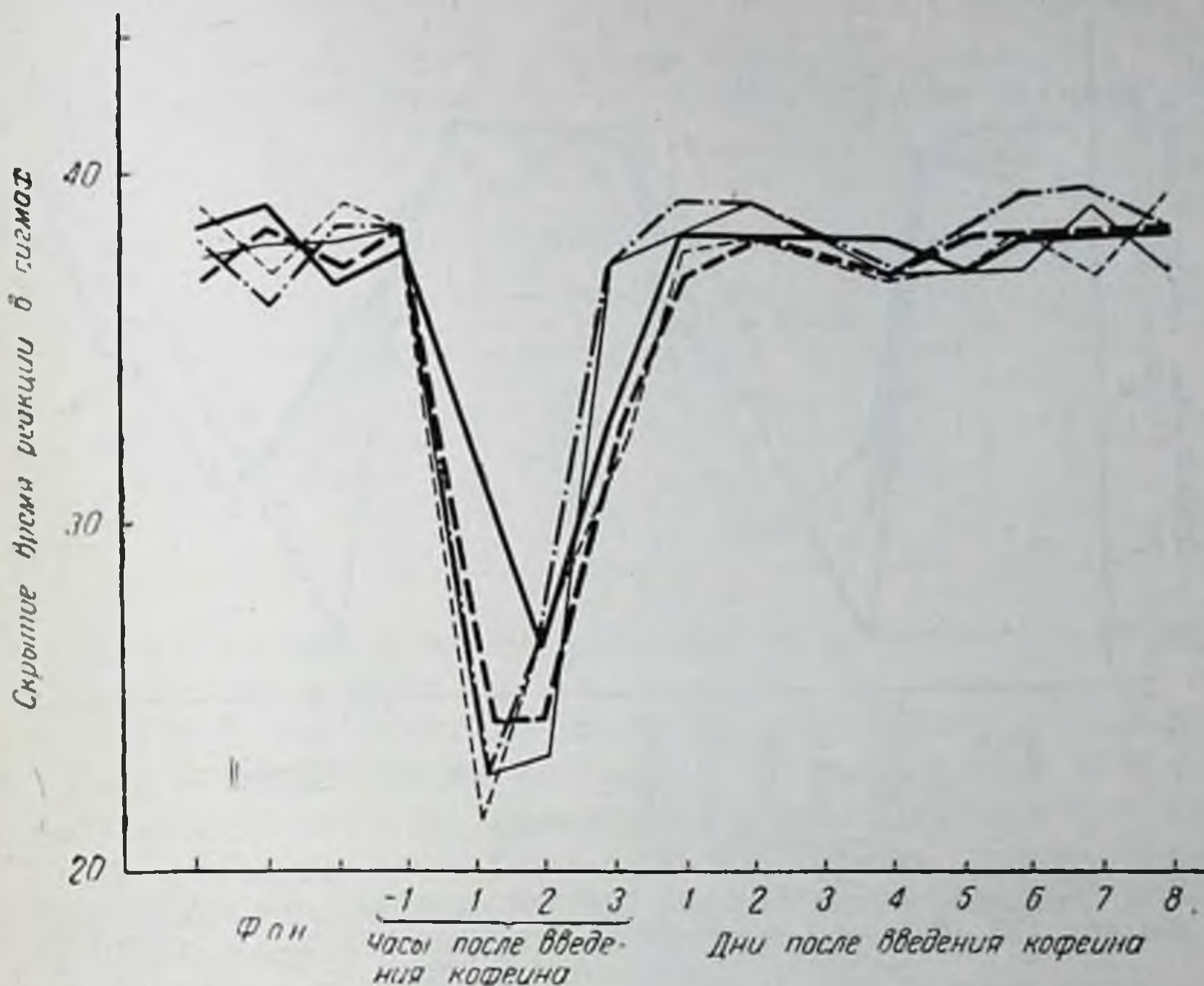


Рис. 56. Изменение скрытого времени у крыс при введении кофеина (1 мг на крысу). Индивидуальные кривые.

рой группы вводился 1 мл раствора кофеина, содержащего 1 мг препарата. Крысы третьей группы подвергались воздействию ультразвука (54 кгц, 130 дб, 1 час) на фоне предварительного введения кофеина в указанной дозе.

Результаты этого опыта показаны на рис. 56, 57. Видно, что введение одного кофеина приводит к отчетливому укорочению скрытого времени, наблюдаемому в течение 2—3 часов после введения кофеина. Воздействие ультразвука на фоне введения кофеина выражается в заметных изменениях обеих фаз сдвигов скрытого времени. Первая фаза хотя и замаскирована изменениями, вызываемыми самим кофеином, но все же видно, что ее максимум сдвинут ближе к началу измерений, а сам сдвиг более значителен. Что касается второй фазы, то она характеризуется более выраженным укорочением

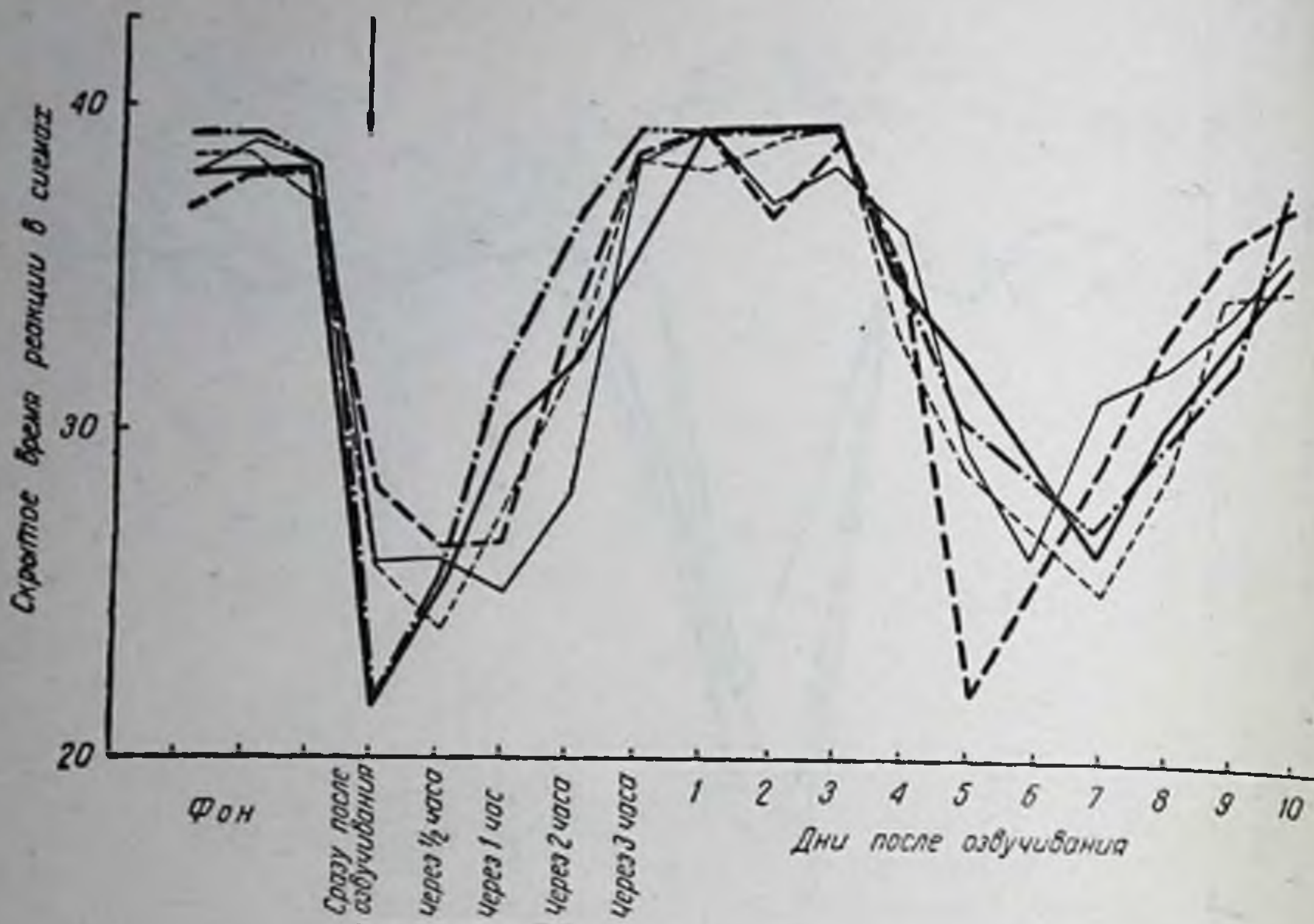


Рис. 57. Изменение скрытого времени у крыс при озвучивании (54 кгц, 135 дб, 1 час) в состоянии возбуждения за счет введения кофеина. Индивидуальные кривые.

скрытого времени, к тому же продолжающемуся дольше, чем при действии одного ультразвука (см. рис. 53, 1).

Таким образом, воздействие ультразвука на фоне предварительного введения кофеина, повышающего возбудимость центральной нервной системы, приводит к заметному усилению действия ультразвука.

В опыте № 3 было две группы крыс по 6 в каждой. Первая группа подвергалась воздействию ультразвука (54 кгц, 130 дб, 1 час) после предварительной физической нагрузки. Вторая группа была контрольной и подвергалась воздействию только одного ультразвука в указанной дозе.

Физическая нагрузка крысам первой группы давалась в виде бега в третбане типа беличьего колеса. Крысы вначале приучались к бегу путем ежедневной тренировки по 5—10 минут, продолжавшейся в течение 10 дней. В день опыта бег продолжался в течение 20 минут. Скорость бега составляла 35 м в минуту, и за 20 минут крысы пробегали около 700 м. Сам бег вызывал некото-

ВЛИЯНИЕ БЕГА В ТРЕТБАНЕ НА СКРЫТОЕ ВРЕМЯ
БЕЗУСЛОВНОРЕФЛЕКТОРНОЙ РЕАКЦИИ У БЕЛЫХ КРЫС

Моменты измерения	Длительность бега			
	5 минут	10 минут	15 минут	20 минут
скрытое время в сигмах				
До бега	38	34	31	38
Сразу после бега	37	39	45	51
Через 5 минут	38	34	31	42
» 10 »	39	36	—	40

рые изменения в величине скрытого времени, рефлекса, показанные в табл. 15.

Как видно из табл. 15, изменение скрытого времени зависит от величины нагрузки. Пятиминутный бег не вызывает заметных изменений скрытого времени; начиная с 10-минутного бега скрытое время после него начинает увеличиваться, но быстро возвращается к исходному уровню. 20-минутный бег вызывает значительное удлинение скрытого времени, но также быстро, в течение 10 минут, оно возвращается к исходным величинам.

Воздействие на крыс ультразвука (54 кгц, 130 дб, 1 час) после физической нагрузки в дозе, указанной выше, по сравнению с воздействием ультразвука на крыс, не подвергавшихся физической нагрузке, вызывает (как видно из рис. 58, 59) несколько более выраженное изменение скрытого времени, заметное как в отношении первой, так и второй фазы.

Таким образом, воздействие ультразвука в сочетании с физической нагрузкой дает также более выраженный биологический эффект.

Аналогичные результаты были получены и при исследовании вегетативных безусловнорефлекторных реакций у кроликов.

Введение внутривенно 3,5 мл/кг 5% раствора этаминал-натрия (нембутал) перед озвучиванием практически полностью устраняет сдвиги, вызываемые воздействием ультразвуковой энергии. Одновременное озвучивание ультразвуком частотой 54 кгц и интенсивностью

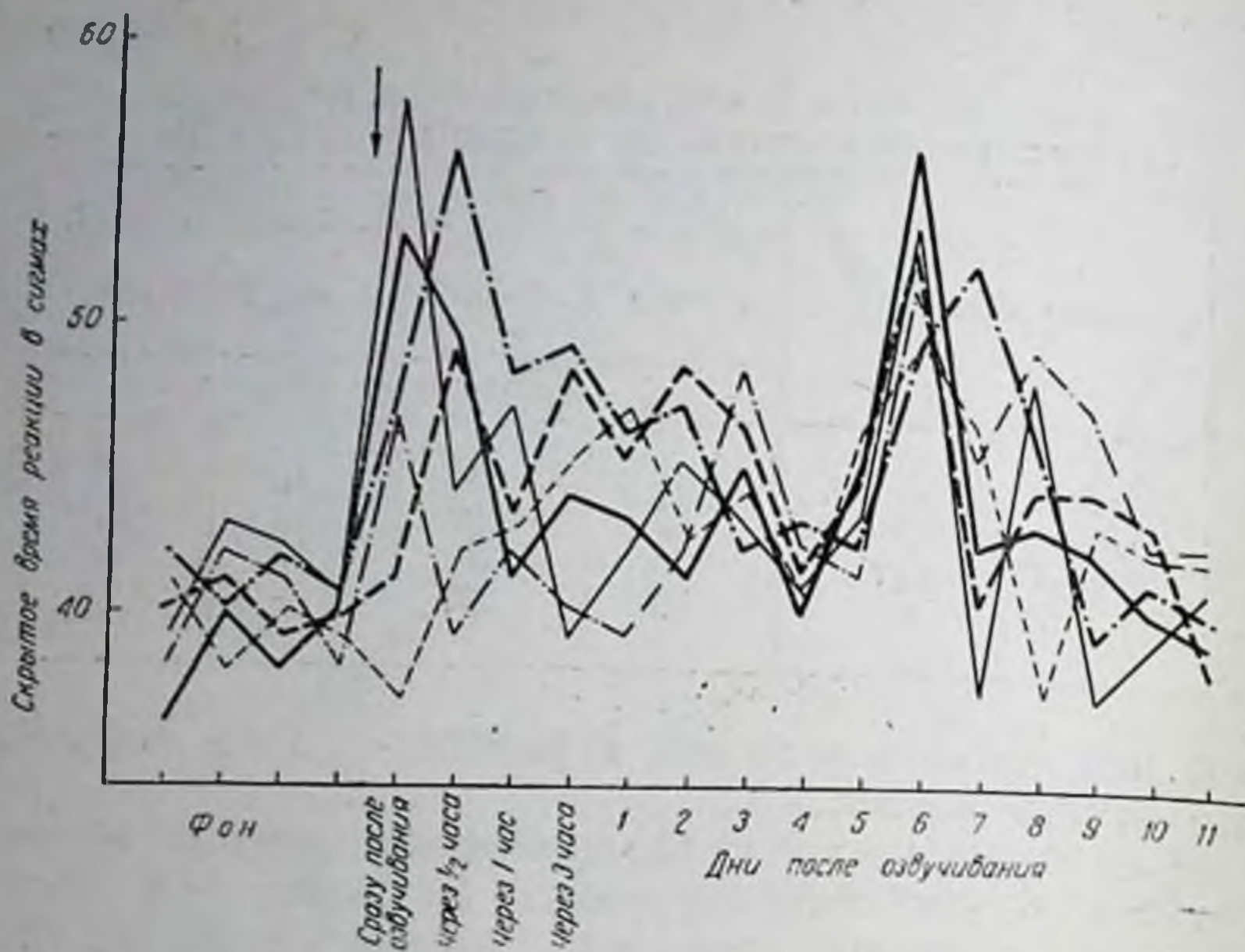


Рис. 58. Изменение скрытого времени реакции у крыс при общем воздействии ультразвуком (54 кгц, 135 дб, 1 час). Индивидуальные кривые.

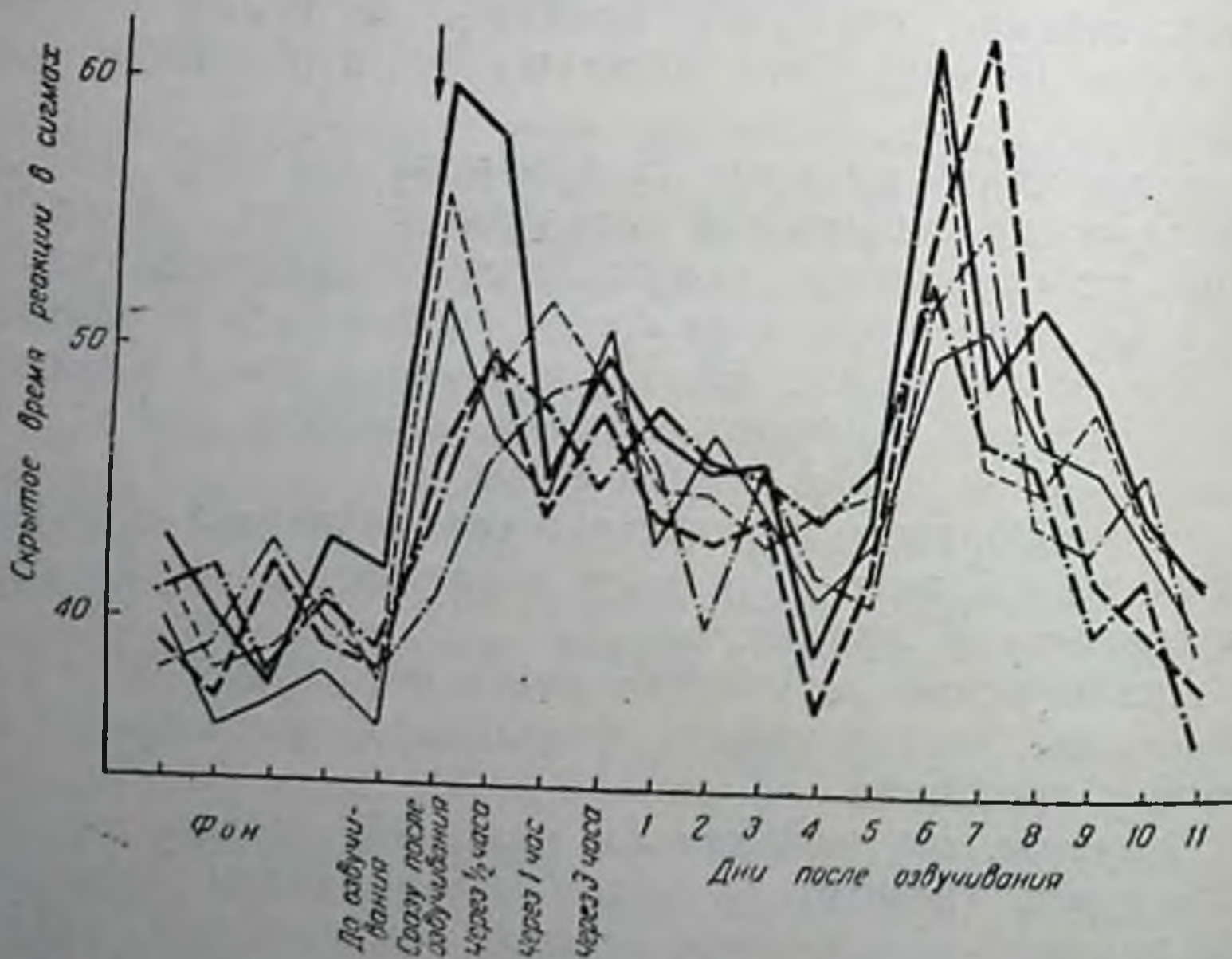


Рис. 59. Изменение скрытого времени у крыс при общем воздействии ультразвуком (54 кгц, 135 дб, 1 час) после предварительной физической нагрузки (бег в третбане в течение 20 минут).

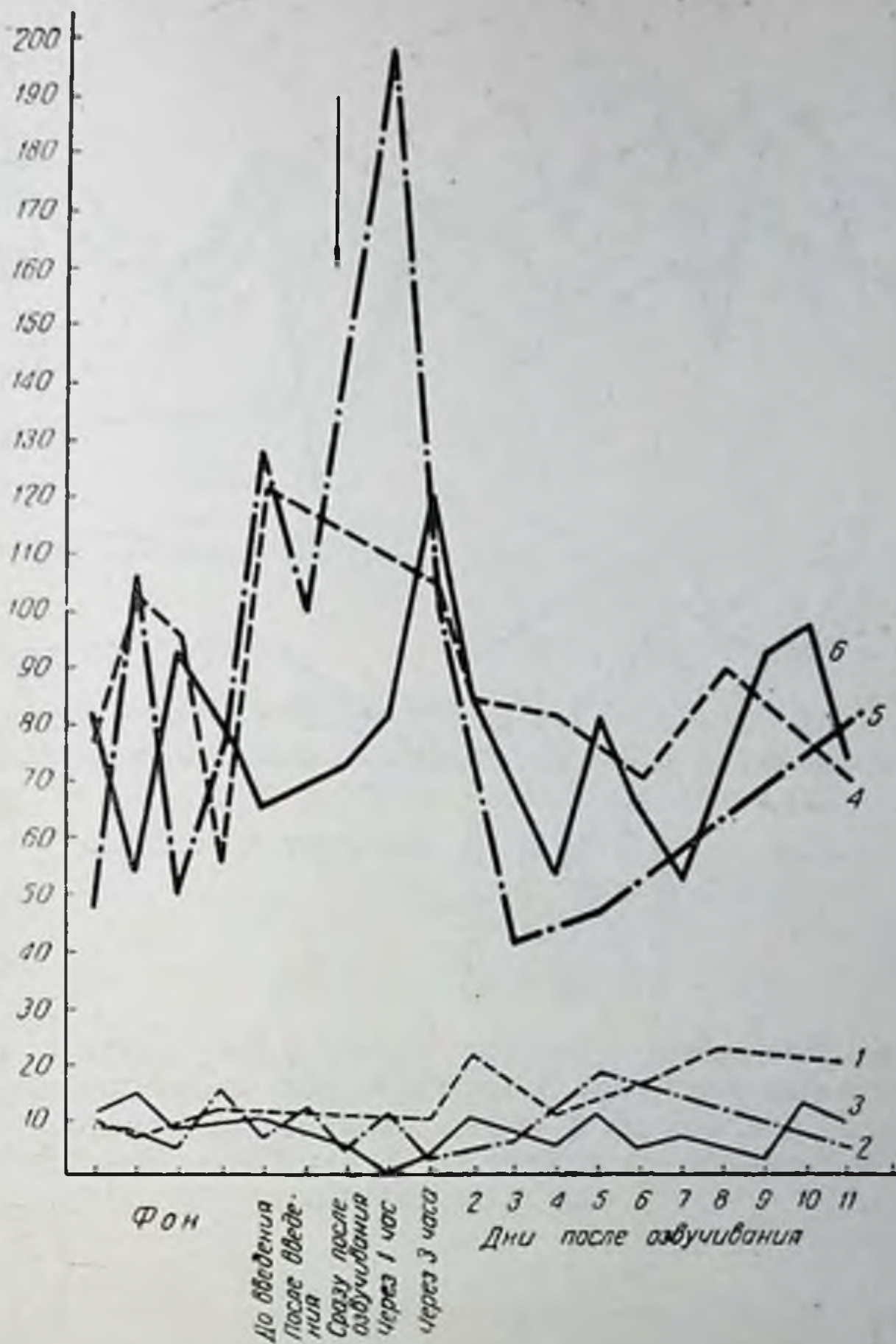


Рис. 60. Изменение условных (1—3) и безусловных (4—6) сердечных рефлексов у кроликов при воздействии ультразвуком 54 кгц, 135 дб, 1 час на фоне медикаментозного сна (1, 4) и возбуждения кофеином (2, 5); 3—6 — воздействие одним ультразвуком.

По горизонтали — часы и дни исследований, по вертикали — изменения рефлексов в пульсовых ударах.

135 дб животных, находящихся в состоянии медикаментозного сна, существенно не отразилось ни на сердечном и дыхательном ритмах, ни на условных и безусловных вегетативных (сердечных и дыхательных) рефлексах в день озвучивания. Значительно менее была выражена и вторая фаза изменений.

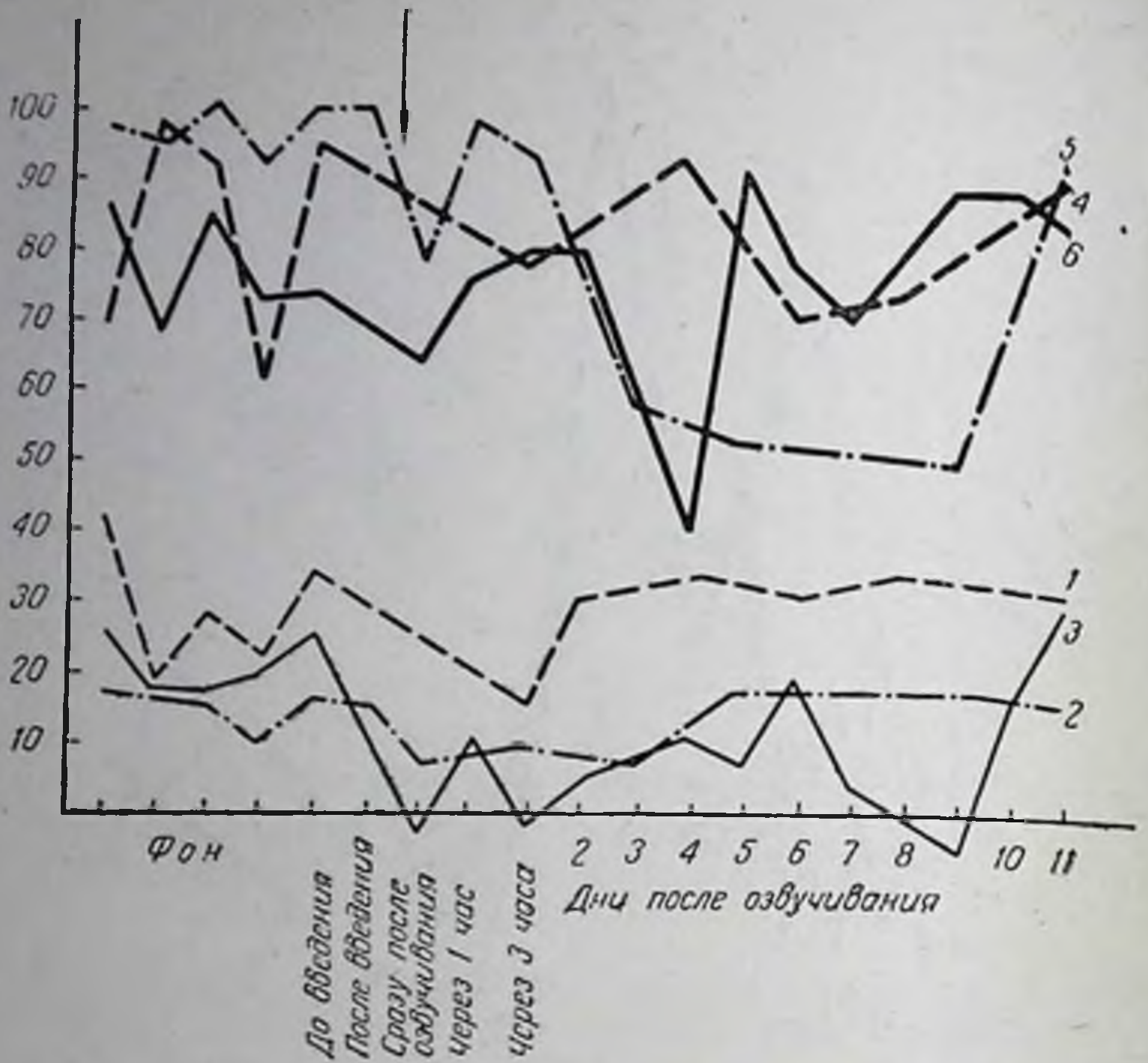


Рис. 61. Изменение условных (1—3) и безусловных (4—6) дыхательных рефлексов у кроликов при воздействии ультразвуком 54 кгц, 135 дб, 1 час на фоне медикаментозного сна (1, 4) и возбуждения кофеином (2, 5); 3, 6 — воздействие одним ультразвуком.

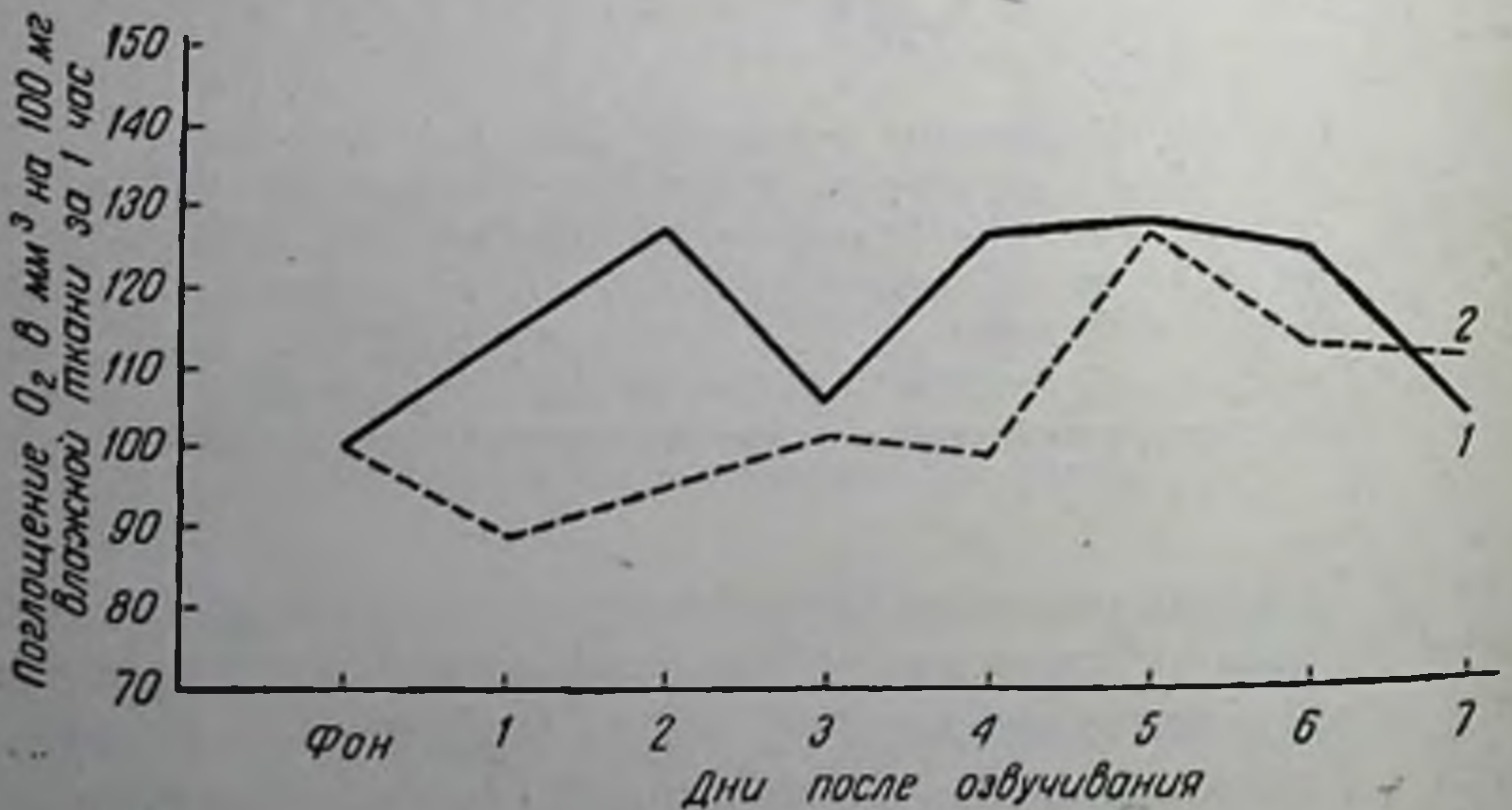


Рис. 62. Изменение поглощения кислорода тканью мозга при воздействии одним ультразвуком 54 кгц, 130 дб, 1 час (1) и ультразвуком на фоне нембутала (2).

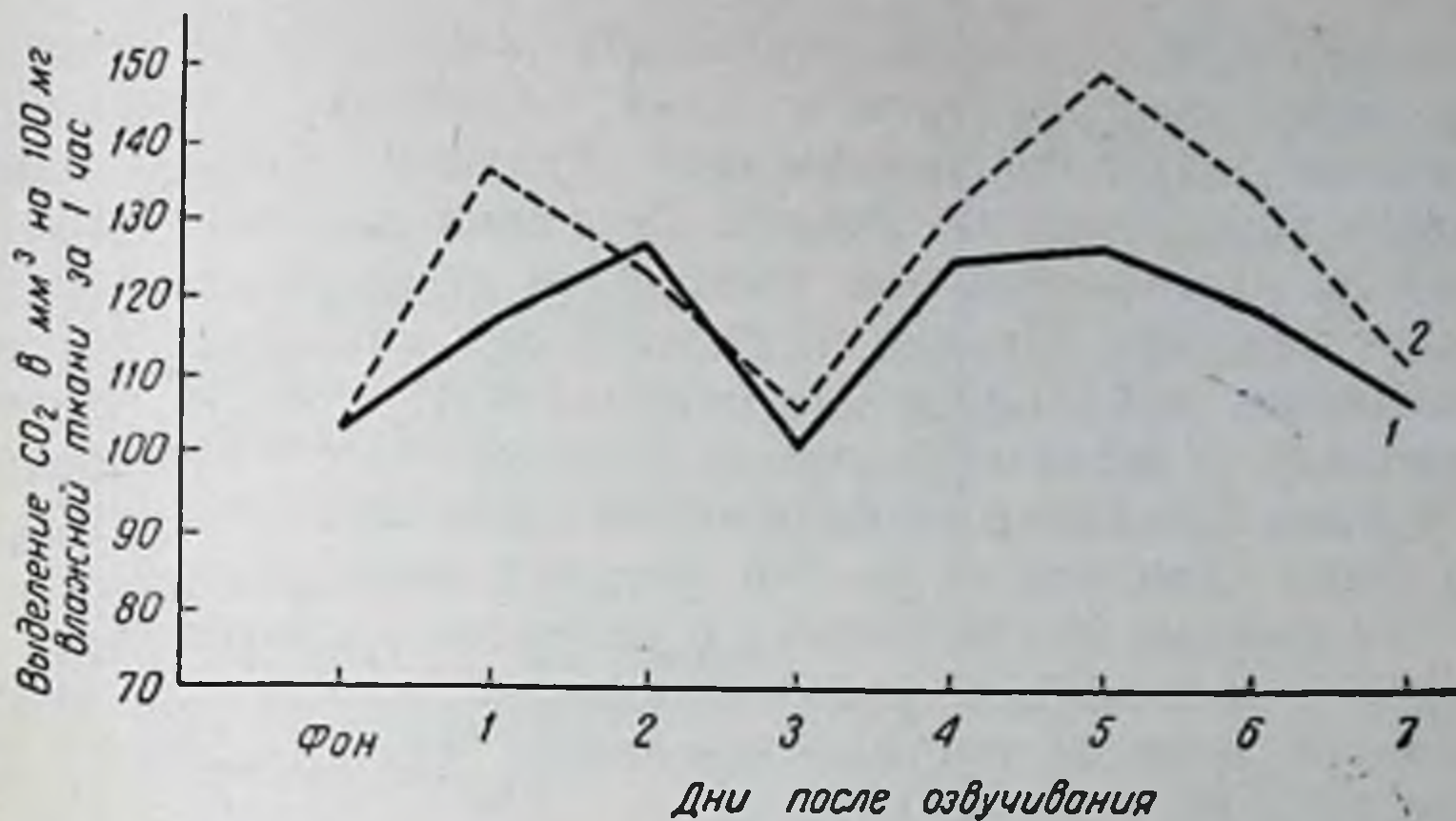


Рис. 63. Выделение угольной кислоты тканью мозга при воздействии одним ультразвуком 54 кгц, 130 дб, 1 час (1) и при действии ультразвука на фоне введения кофеина (2).

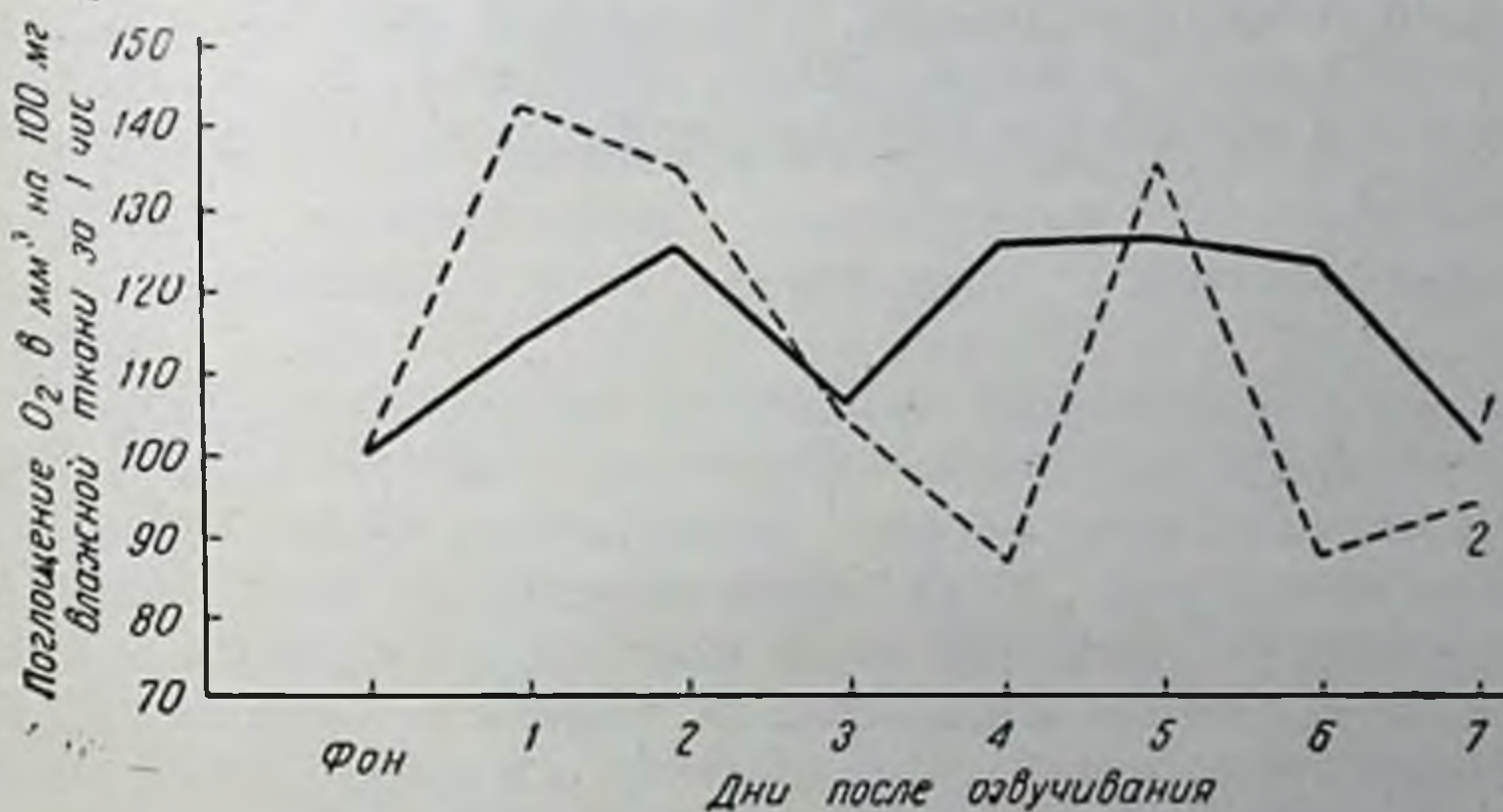


Рис. 64. Поглощение кислорода тканью мозга при воздействии одним ультразвуком 54 кгц, 130 дб, 61 час (1) и при действии ультразвука на фоне физической нагрузки (2).

В то же время возбуждение высших отделов центральной нервной системы, вызванное введением кофеина (1 мл 10% раствора бензойнонатриевой соли внутривенно), значительно усилило реакцию со стороны сердца. Учащение сердечного ритма было более выраженным и длительным, резко возрастала величина и бе-

зусловнорефлекторных сердечных рефлексов. Условные же сердечные рефлексy в этих условиях изменялись меньше. Сдвиги в дыхательной функции были также менее выраженными. Вместо урежения дыхания наблюдалось даже некоторое увеличение частоты дыхательных движений. Правда, в дальнейшем учащение все же сменялось небольшим олигопноэ. Почти совсем отсутствовало угнетение условных рефлексов, а уменьшение безусловнорефлекторной реакции дыхательного аппарата было сдвинуто на 3—9-й день последовательно.

Указанные особенности в действии ультразвука в связи с изменением функционального состояния центральной нервной системы наглядно представлены на рис. 60 и 61.

Таким образом, эти опыты показали, что величина и направленность реакции со стороны сердечной системы и дыхательного аппарата при воздействии ультразвука также в значительной степени определяются функциональным состоянием центральной нервной системы. Аналогичные данные были получены Р. М. Никольской и в отношении биохимических показателей (рис. 62, 63, 64).

**ДОПУСТИМАЯ ДОЗА
ВОЗДЕЙСТВИЯ
УЛЬТРАЗВУКА
И НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ
ЗАЩИТЫ ОТ ЕГО
ВРЕДНОГО ДЕЙСТВИЯ
В ЭКСПЕРИМЕНТЕ
НА ЖИВОТНЫХ**

Одной из задач гигиены труда является определение допустимой дозы воздействия того или иного фактора производственной среды. Как правило, допустимая доза определяется с таким расчетом, чтобы при ее каждодневном многочасовом применении у человека не возникало бы каких-либо патологических сдвигов.

После установления предельно допустимой дозы того или иного производственного фактора превышение этой дозы в зоне нахождения рабочих санитарным законодательством не разрешается. Если это превышение все же имеется, то должны быть приняты те или иные меры защиты. Учитывая возможность вредного воздействия ультразвука на производстве, становится понятной необходимость определения предельно допустимой его дозы.

Предельно допустимая доза воздействия ультразвука, как и других производственных факторов, должна быть определена с учетом всех условий действий этих факторов в производственной обстановке. В частности, для ультразвука к условиям производственной обстановки, подлежащим учету при определении его допустимой дозы, относятся ежедневные многочасовые воздействия ультразвука преимущественно на открытые части тела, в основном на лицо и руки.

Гигиенисты очень часто производят определение допустимых доз тех или иных производственных факторов первоначально в лабораторных опытах на животных, а затем полученные данные проверяют на людях.

Нами была проведена такая работа в отношении ультразвука. В качестве подопытных животных были взяты крысы, в качестве индикаторов функционального состояния — измерение скрытого времени безусловно-рефлекторной оборонительной реакции и скорости поглощения радиоактивного йода щитовидной железой. Всего было поставлено 4 серии опытов. Во всех сериях у подопытных животных — крыс — барабанные перепонки были разрушены, с тем чтобы исключить воздействие на них звуковой составляющей спектра сирены. На время озвучивания крыс одевали в специальные суконные костюмчики, оставляющие открытыми для действия ультразвука только голову, лапы и хвост. Озвучивание проводилось внутри описанного выше шара, в котором создавалось однородное по силе звуковое поле. Крыс озвучивали ежедневно по 2—3 часа до возникновения вполне определенных сдвигов по избранным показателям, указывающих на то, что применяемая доза воздействия является для них больше допустимой.

Из ранее описанных нами экспериментальных данных следует, что повторные воздействия ультразвука снижают пороговую дозу его на 10—15 дб. Локальное же воздействие ультразвука на голову и конечности увеличивает ее на 20—25 дб. Таким образом, можно полагать, что пороговая доза при многократном локальном воздействии ультразвука для крыс будет 115 дб ($100 + 25 - 10$).

В первой серии опытов 6 крыс с разрушенными барабанными перепонками и слуховыми косточками подвергались повторному 2—3-часовому воздействию ультразвука (54 кгц, 135 дб) при условии, что ультразвук действовал только на голову, конечности и хвост животных. Результаты опыта представлены на рис. 65. Измерение скрытого времени производилось каждый раз через 2 часа после озвучивания, т. е. тогда, когда при однократных воздействиях ультразвука обнаруживаются наиболее резкие изменения скрытого времени. Как видно из этого рисунка, повторные воздействия ультразвука в этих условиях приводят к резкому изме-

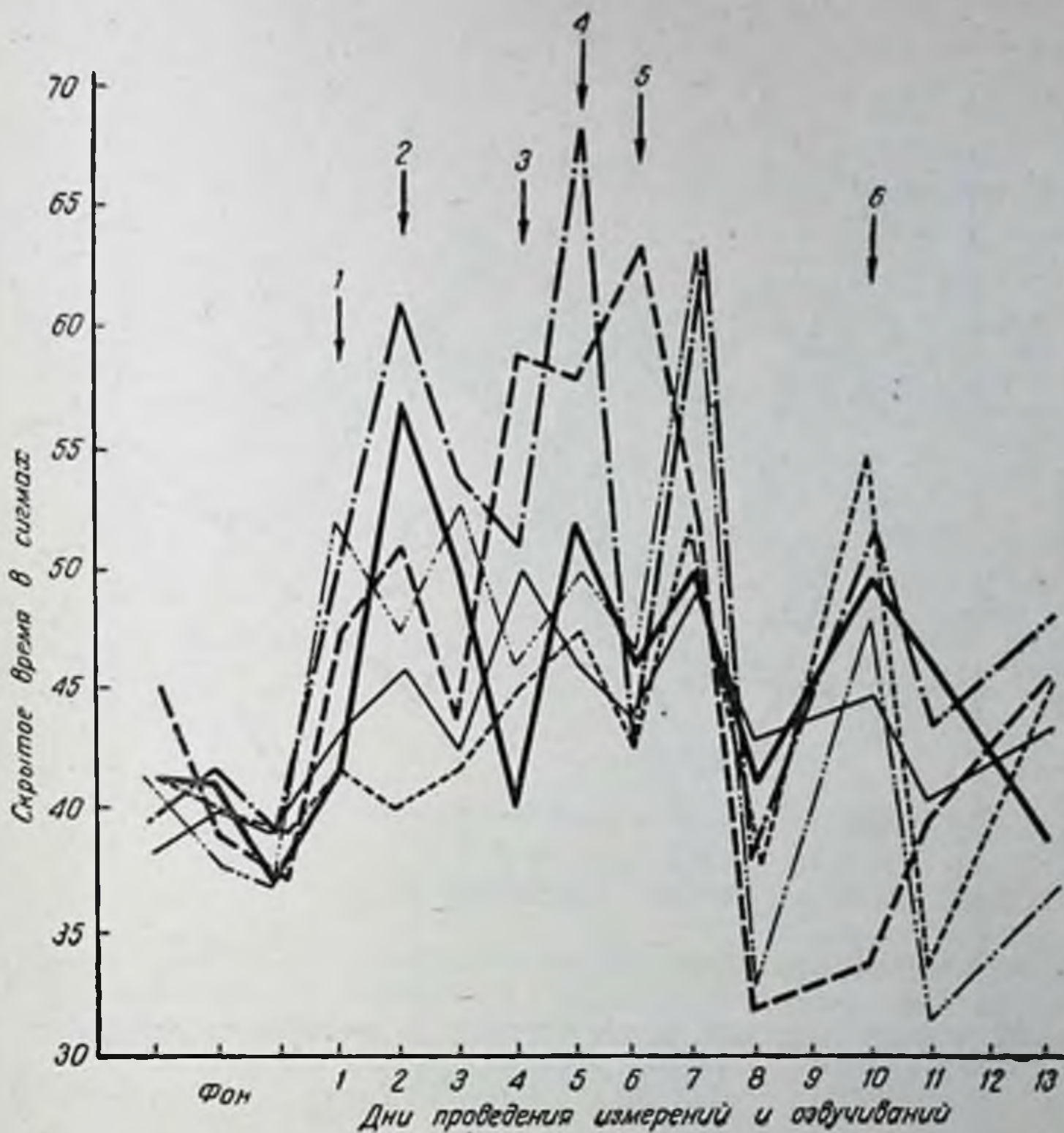


Рис. 65. Динамика скрытого времени реакции у белых крыс с разрушенными барабанными перепонками при повторных локальных воздействиях ультразвука (54 кгц, 135 дб, 2 часа ежедневно).

Стрелки и цифры на них — дни озвучиваний. Индивидуальные кривые.

нению скрытого времени. Из этого можно сделать вывод, что интенсивность в 135 дб является явно надпороговой. Из характера кривых этого рисунка отчетливо видно суммирование результатов предыдущих и последующих озвучиваний, что является дополнительным подтверждением наших прежних предположений об аддитивности биологического действия ультразвука.

Вторая серия опытов ставилась по той же схеме, что и опыты первой серии, за исключением того, что крысы подвергались воздействию менее интенсивного ультразвука, а именно 120—125 дб. Результаты опыта

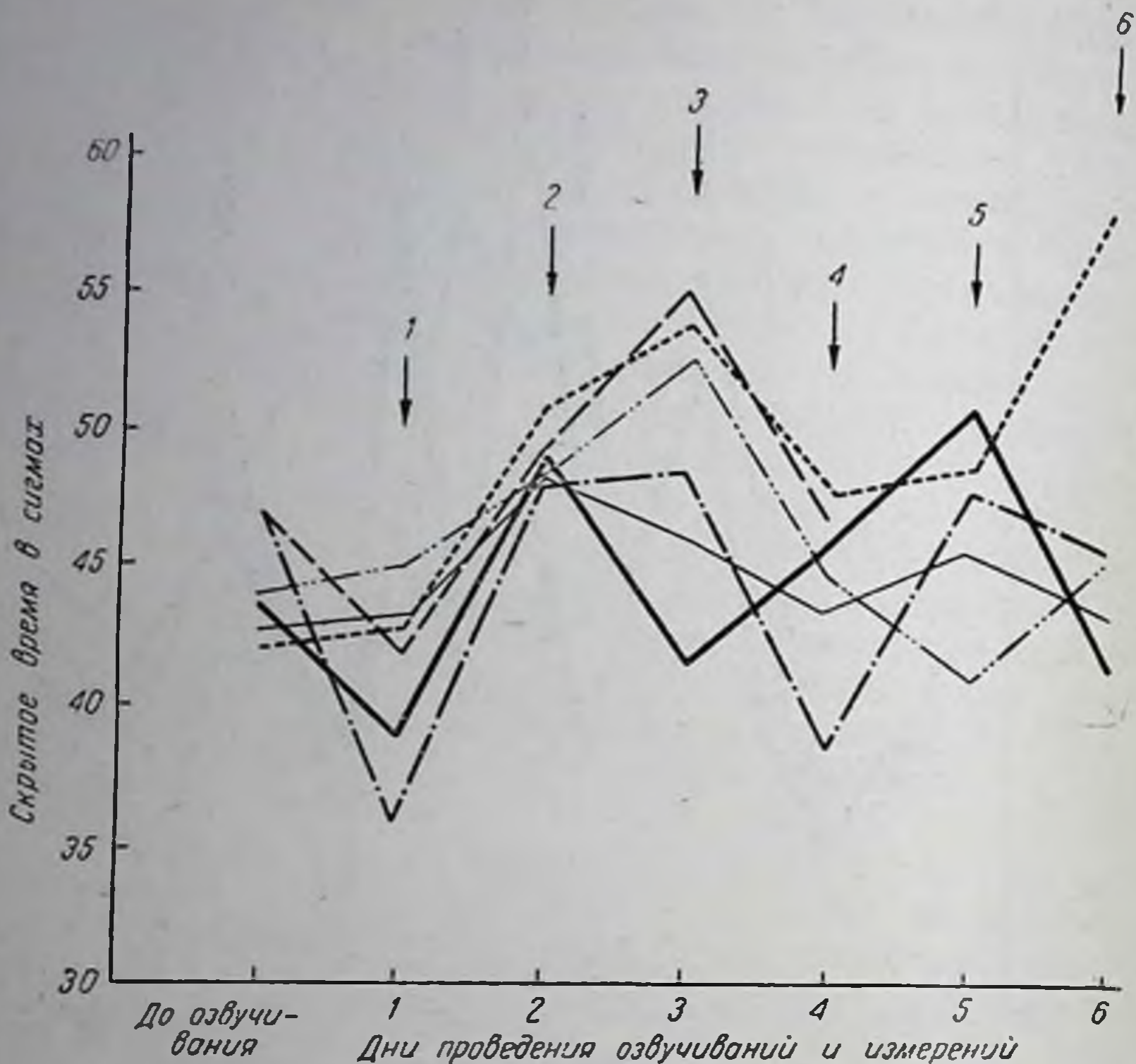


Рис. 66. Динамика скрытого времени реакции у белых крыс с разрушенными барабанными перепонками при повторных локальных воздействиях ультразвуком (54 кгц, 120—125 дб, 2 часа ежедневно).

Обозначения те же, что и на рис. 65.

представлены на рис. 66. Как видно из него, и в этой серии опытов скрытое время по мере повторения озвучивания удлинялось, хотя и в меньшей степени, чем при воздействии ультразвука в 135 дб. Следовательно, интенсивность в 120—125 дб в этих условиях озвучивания была также надпороговой.

Опыты в третьей серии ставились так же, как в первой — второй сериях, за исключением того, что интенсивность озвучивания была выбрана еще меньше, а именно 110—115 дб. Результаты этого опыта представлены на рис. 67. Как видно из него, у крыс этой серии повторные двухчасовые воздействия ультразвука

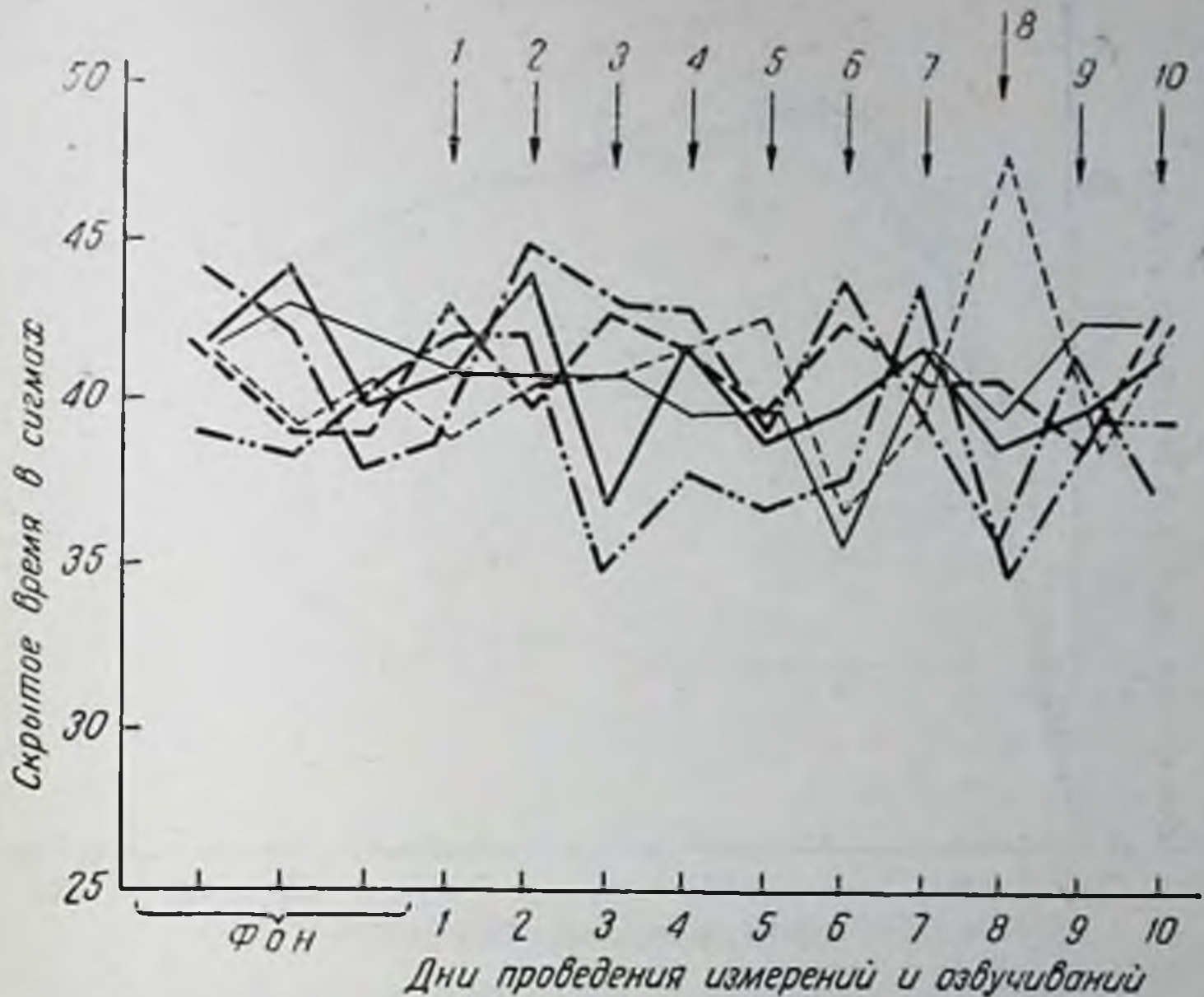


Рис. 67. Динамика скрытого времени реакции у белых крыс с разрушенными барабанными перепонками при повторных локальных воздействиях ультразвуком (54 кгц, 110—115 дб, 2—3 часа ежедневно).

Обозначения те же, что и на рис. 65.

в течение 10 дней не привели к заметным изменениям величины скрытого времени. Следовательно, можно заключить, что сила ультразвука в 110—115 дб в этих условиях озвучивания была пороговой.

Опыты четвертой серии ставились в тех же условиях, что и опыты третьей серии, за исключением того, что индикатором биологического действия ультразвука в них служило не измерение скрытого времени безусловнорефлекторной оборонительной реакции, а функциональное состояние щитовидной железы, определяемое по скорости поглощения радиоактивного йода. В этой серии под опытом было 2 группы по 6 крыс. Первая группа подвергалась воздействию ультразвука частотой 54 кгц и интенсивностью 115 дб продолжительностью 2—3 часа в день в течение 15 дней. Через час после последнего озвучивания этим крысам было

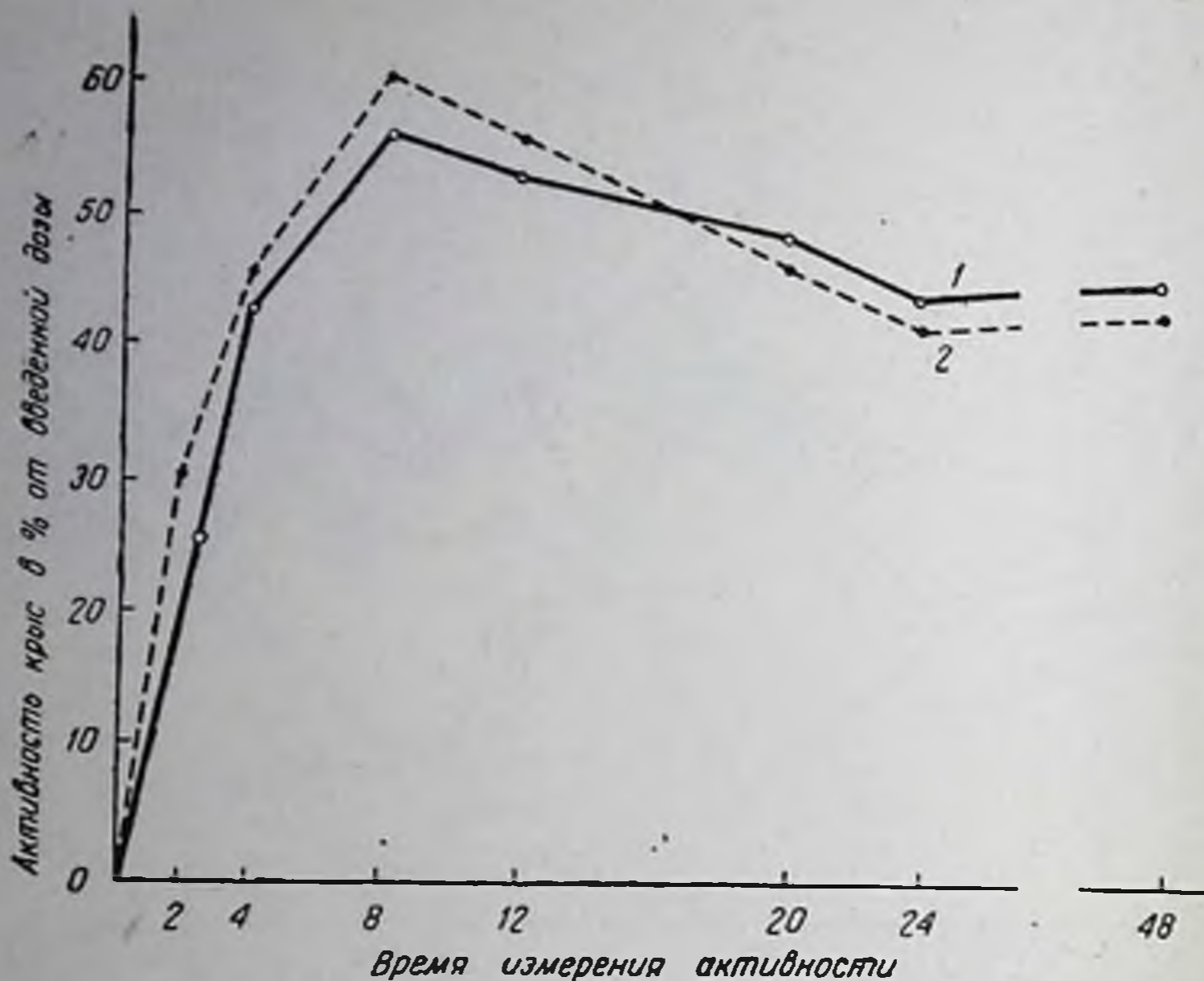


Рис. 68. Кривые поглощения радиоактивного йода крысами после многократных локальных воздействий ультразвуком (54 кгц, 110—115 дб, 2—3 часа в течение 15 дней).
 1 — крысы с разрушенными барабанными перепонками; 2 — контроль на интактных крысах.

введено по 5 мкк радиоактивного йода в 1 мл раствора и затем производилось определение накопления J^{131} в щитовидной железе. Вторая группа была контрольной, она воздействию ультразвука не подвергалась. Радиоактивный йод крысам этой группы в том же количестве был введен одновременно с животными первой группы. Определение накопления J^{131} в щитовидной железе этих крыс производилось параллельно определению у крыс первой группы.

Результаты этого опыта приведены на рис. 68. Видно, что поглощение радиоактивного йода щитовидной железой у крыс обеих групп происходило совершенно одинаково. Отсюда можно сделать вывод, что тот способ воздействия ультразвука, который был применен в этом опыте, не привел к изменению функционального состояния щитовидной железы и, следовательно, интенсивность ультразвука в 110—115 дб действительно является для крыс подпороговой.

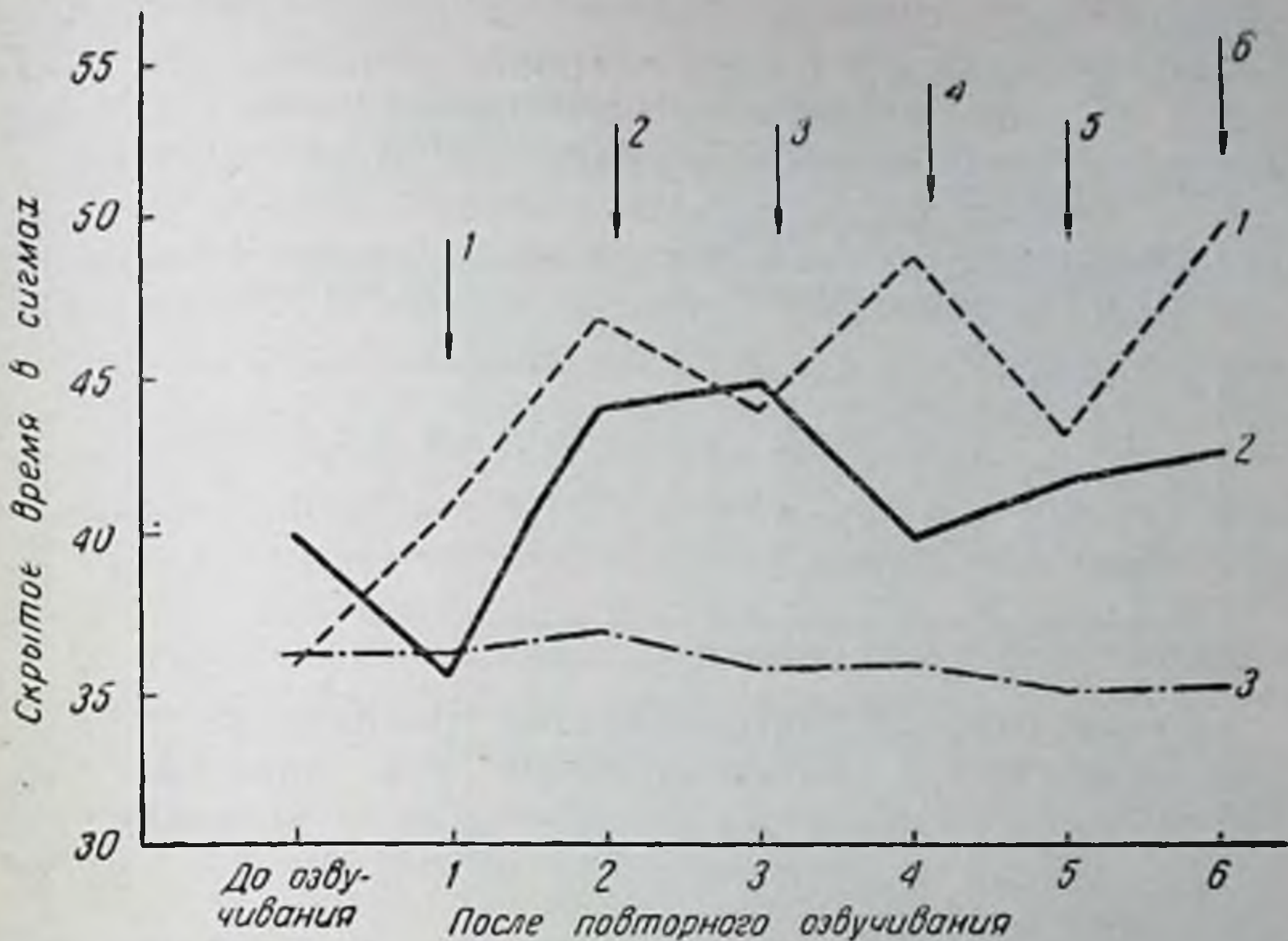


Рис. 69. Разница в динамике скрытого времени реакций у крыс с разрушенными барабанными перепонками при повторных локальных воздействиях ультразвуком разной интенсивности (средние данные).

1 — 135 дБ, 2 — 125 дБ, 3 — 115 — 110 дБ.

Таким образом, в результате проведенных опытов были получены данные о том, что при воздействии ультразвука частотой 54 кгц (в условиях, близких к имеющимся на производстве) его подпороговая доза по двум показателям — состоянию нервной системы и состоянию щитовидной железы — оказалась равной для крыс 110—115 дБ.

В заключение необходимо сослаться на установление достоверности наших данных по определению допустимой дозы воздействия ультразвука. На рис. 69 приведены данные об особенностях изменения скрытого времени оборонительной реакции у белых крыс при многократных повторных воздействиях ультразвука при разных интенсивностях его действия. Определение достоверности разницы в величине скрытого времени после 4-го озвучивания для интенсивностей 135, 125 и 115 дБ показало (табл. 16), что разница для доз 135—125 дБ и 125—115 дБ достоверна, а разница между озвучиванием в 110—115 дБ и фоном недостоверна.

ДАННЫЕ О ДОСТОВЕРНОСТИ ОПЫТОВ
ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ ДОПУСТИМОЙ ДОЗЫ
ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА

Действующая сила ультразвука в дб	Величина скрытого времени после 4-го озвучивания $M \pm m$	Статистическая оценка достоверности разницы
135	54 ± 2	Разница 1 и 2 достоверна » 2 и 3 » » 3 и фон отсутствует
120—125	45 ± 3	
110—115	41 ± 3	
Фон	40 ± 4	

Таким образом, интенсивности ультразвука в 135 — 125 дб являются надпороговыми при многократных, многочасовых локальных воздействиях, а интенсивность в 115—110 дб подпороговая, не отличающаяся по результатам от фона.

Возникает вопрос, в какой мере эта допустимая доза, полученная в опыте на животных, может быть перенесена на человека в производственных условиях.

Выше уже было сказано, что гигиенисты часто определяют ту или иную допустимую дозу воздействия физико-химических факторов вначале в условиях лабораторного эксперимента на животных. При этом считается, что основные физиологические закономерности функционирования различных органов и систем человека и высших животных близки и что основные качественные особенности воздействия различных физических факторов на человека и млекопитающих животных одинаковы. Однако доза воздействия, вызывающая те или иные изменения в организме, может быть различна. Поэтому допустимая доза низкочастотного ультразвука, определенная при повторных, многочасовых локальных облучениях крыс (115 дб), не может быть механически перенесена в качестве допустимой дозы для человека. Она может служить только отправной точкой при проведении соответствующих исследований на людях.

Важность проведенных экспериментов заключается также в том, что в них выясняется значение таких особенностей воздействия ультразвука, как зависимость пороговой дозы от продолжительности, повторности и

способа (общее или локальное озвучивание) его воздействия на организм, а также зависимость этого воздействия от исходного состояния организма.

Изложенные нами данные о биологическом действии низкочастотного ультразвука приводят к выводу о том, что в определенных условиях воздействия низкочастотный ультразвук может вызвать выраженные явления биологического действия. Опасность этого еще больше увеличивается при повторных озвучиваниях, как это имеет место на производстве при обслуживании ультразвуковых установок, в особенности при возможности комбинирования воздействия ультразвука с другими профвредностями.

В связи с этим возникает вопрос о защите от возможного вредного воздействия ультразвука.

По ходу изложения наших данных мы касались тех или иных способов. В этом разделе они будут изложены в более систематизированном виде.

Первый способ защиты от воздействия ультразвука заключается в экранировании озвучиваемого объекта. Этот способ основан на свойстве ультразвука образовывать тень позади какой-либо преграды для его прямолинейного распространения. Этот способ в нашей работе мы использовали в двух вариантах. Первый вариант осуществлялся так, что отверстие металлического шара, куда мы помещали для диффузного озвучивания наших животных, отворачивалось на 180° от сирены. В этом случае ультразвук отражался от наружной поверхности шара и внутрь его не проникал, в то время как обычные звуки, для которых свойство образовывать тень нехарактерно, проходили в шар только с небольшим ослаблением (табл. 17).

Таким образом, свойство образовывать тень даже в отношении низкочастотных ультразвуков может быть использовано в целях экранирования озвучиваемых объектов. По предложению Института гигиены имени Ф. Ф. Эрисмана такой способ экранирования был успешно применен на производстве при обслуживании ультразвуковых установок (см. ниже).

Второй вариант экранировки был применен нами в опытах с диффузным или с тем или иным локальным озвучиванием. В главе V было показано, что таким способом экранировки действительно достигалось за-

ЗНАЧЕНИЕ ЭКРАНА ДЛЯ ЗВУКОВ И УЛЬТРАЗВУКОВ

Октавные полосы, гц	Уровень звукового давления внутри шара в октавных полосах		Степень ослаб- ления, дб
	отверстие ша- ра обращено к сирене	отверстие ша- ра повернуто на 180° от сирены	
Общий уровень от 20 000 до 100 000	134	87	47
31 500	127	85	42
16 000	104	69	35
8 000	99	70	29
4 000	95	72	23
2 000	89	67	22
1 000	90	67	23
500	90	66	24
250	90	66	24
125	76	63	13
63	82	61	21
31,5	73	68	5

метное снижение выраженности биологического действия ультразвука.

Частичная экранировка происходит и при помещении озвучиваемых животных в металлическую сетку с ячейками $0,5 \times 0,5$ см. Г. С. Стрелин (1954), исследовавший экранирующее значение воздействия радиоактивных излучений через решетки, привел данные о том, что значение решеток не сводится только к экранизации. Большую роль играет воздействие сниженной интенсивности излучения под перекладинами решетки для превращения явления угнетения функций в явление их активации. Это было показано также и в наших опытах при озвучивании крыс большой (угнетающей) дозой ультразвука через плотно прилегающую к телу металлическую сетку (С. И. Горшков).

Такой способ может найти применение для защиты открытых частей тела у лиц, обслуживающих ультразвуковые установки на производстве. Он будет особенно эффективен там, где наряду с действием ультразвука через воздух имеется также его контактное действие, например при обслуживании ультразвуковых ванн.

Наши опыты по изучению зависимости биологического действия ультразвука от исходного состояния животных показали, что озвучивание в состоянии наркотического сна снижает эффективность воздействия ультразвука. Хотя этот факт давно известен в отношении ряда других воздействий (например, в отношении радиоактивных излучений), тем не менее его значимость в отношении ультразвука представляет большой интерес. Этот факт открывает возможность защиты организма от вредного воздействия ультразвука путем подбора соответствующих биологических или химических средств, повышающих резистентность организма или понижающих его чувствительность. Известно, что такие защитные средства против вредного воздействия радиоактивных излучений в настоящее время применяются с большим успехом.

При изучении биохимических сдвигов в случае воздействия низкочастотного ультразвука в эксперименте были получены данные о резком уменьшении количества сахара в крови у озвученных кроликов. После однократного тотального воздействия ультразвуком (54 кгц, 130 дб, 1 час) уровень сахара в крови у кроликов снижался с 90—100 до 60—70 мг% (Р. М. Никольская, 1963). Аналогичные сдвиги в крови рабочих, обслуживающих ультразвуковые установки, отмечены Л. Б. Юшкевич и В. С. Склянской (1963), а также З. З. Ашбель (1964).

Такое снижение сахара в крови не безразлично для организма. Так, по данным физиологов А. Н. Крестовникова и В. С. Фарфель (1954), понижение уровня глюкозы в крови у людей до 70—45 мг% сопровождается рядом тяжелых расстройств в деятельности всего организма и прежде всего центральной нервной системы.

Физиологи труда считают, что снижение уровня сахара в крови является одной из причин выраженного производственного утомления. Отсюда можно предположить, что и у рабочих, обслуживающих ультразвуковые установки, часть жалоб на утомляемость, головокружение и другие расстройства связана с понижением у них уровня сахара в крови.

В связи с этим возник вопрос о применении сахарной нагрузки как меры защиты от вредного действия ультразвука.

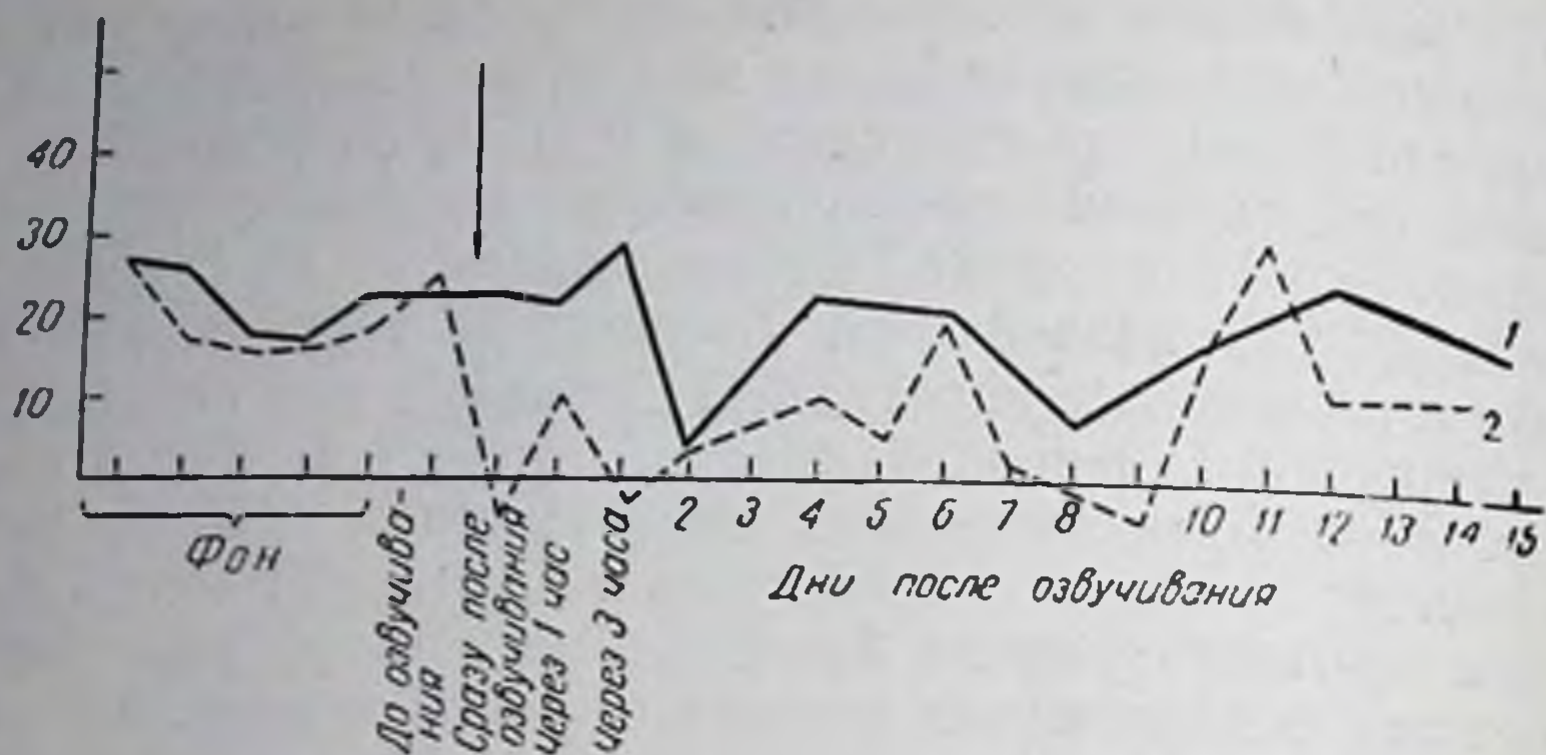


Рис. 70. Изменение условных дыхательных рефлексов при озвучивании кроликов ультразвуком 54 кгц, 135 дб, 1 час на фоне повышенного содержания сахара в крови (1) и без дополнительного сахара (2).

По горизонтали — дни после озвучивания, по вертикали — частота дыхательных движений в минуту.

Проверка защитного влияния сахара была проведена в эксперименте на кроликах (Р. М. Никольская, Г. А. Антропов, 1965). Биологическое действие ультразвука оценивалось по состоянию условных и безусловных сердечных и дыхательных рефлексов, а также по изменению сердечного ритма и частоты дыхательных движений.

Были поставлены две серии опытов. В первой серии животные подвергались однократному тотальному воздействию ультразвука (54 кгц, 130 дб, 1 час). Опыты были поставлены на 7 кроликах. У всех животных после озвучивания имелись выраженные сдвиги в сердечной деятельности и дыхании. Особенно четкие изменения были в частоте дыхательных движений и в величине условных рефлексов. Сразу после прекращения воздействия ультразвука дыхание резко замедлялось. Если до озвучивания частота дыхательных движений была равна 140—190 в минуту, то после воздействия ультразвука она снизилась до 64. Восстановление исходного уровня дыхания происходило медленно, и обычного уровня дыхания достигло лишь к 12—14 дням после озвучивания.

Величина условных сердечных и дыхательных рефлексов резко уменьшилась в день озвучивания и оставалась на низком уровне в последующие 8—9 дней.

Описанные изменения хорошо видны на рис. 70. На этом же рисунке пунктиром нанесена динамика тех же функций у животных второй серии, в которой все делалось так же, как и в опытах первой серии, за исключением того, что кроликам непосредственно перед озвучиванием вводили в желудок сахар в гипергликемической дозе. В результате обнаруживалось, что после озвучивания в крови кроликов второй серии сохранялся повышенный уровень сахара, а сдвиг в состоянии условных сердечных и дыхательных рефлексов был выражен значительно меньше, чем у кроликов первой серии. Меньше было выражено и урежение дыхательного ритма, а восстановление исходного уровня дыхания происходило значительно быстрее.

На основании изложенного может быть внесена рекомендация о введении для рабочих, обслуживающих ультразвуковые установки, лечебно-профилактического завтрака, включающего сахар в дозе, обеспечивающей длительную гипергликемию. Из литературных источников известно, что наибольший эффект наблюдается при приеме сахара непосредственно перед началом работы или за 10—15 минут до смены (В. С. Фарфель, 1954).

Все эти факты указывают на то, что поиски мер эффективной защиты от вредного воздействия ультразвука не только обязательны, но и возможны.

ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА ОРГАНИЗМ РАБОТАЮЩИХ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ

1. УЛЬТРАЗВУК НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Ультразвук нашел широкое применение в металлургии, в радиотехнической, химической, фармацевтической и легкой промышленности, в сельском хозяйстве, в биологии и медицине и т. д. Сейчас с помощью ультразвука сверлят, режут, сваривают различные металлы, очищают поверхности разнообразных изделий от примесей, производят измерение толщины, определяют качество литья и сварных конструкций, разрушают горные породы; ультразвук применяют в лечебной практике при терапии ряда заболеваний, для диагностики с целью просвечивания тканей, подобно рентгеновскому аппарату и т. д. Одновременно создание мощных производственных установок такого типа, как мощные турбины и гидронасосы, кузнечные молоты, а также плазменные горелки и многие другие, являющиеся источниками образования побочного ультразвука, привело к тому, что ультразвук стал обязательным фактором внешней среды для работающего человека при большом числе производственных процессов, даже если в них не используется специальная ультразвуковая аппаратура.

С гигиенической точки зрения наибольшее внимание привлекает к себе ультразвук, образующийся при работе ультразвуковых силовых установок, а также побочный ультразвук. В результате работы силовых установок генерируется ультразвук с преимущественной частотой

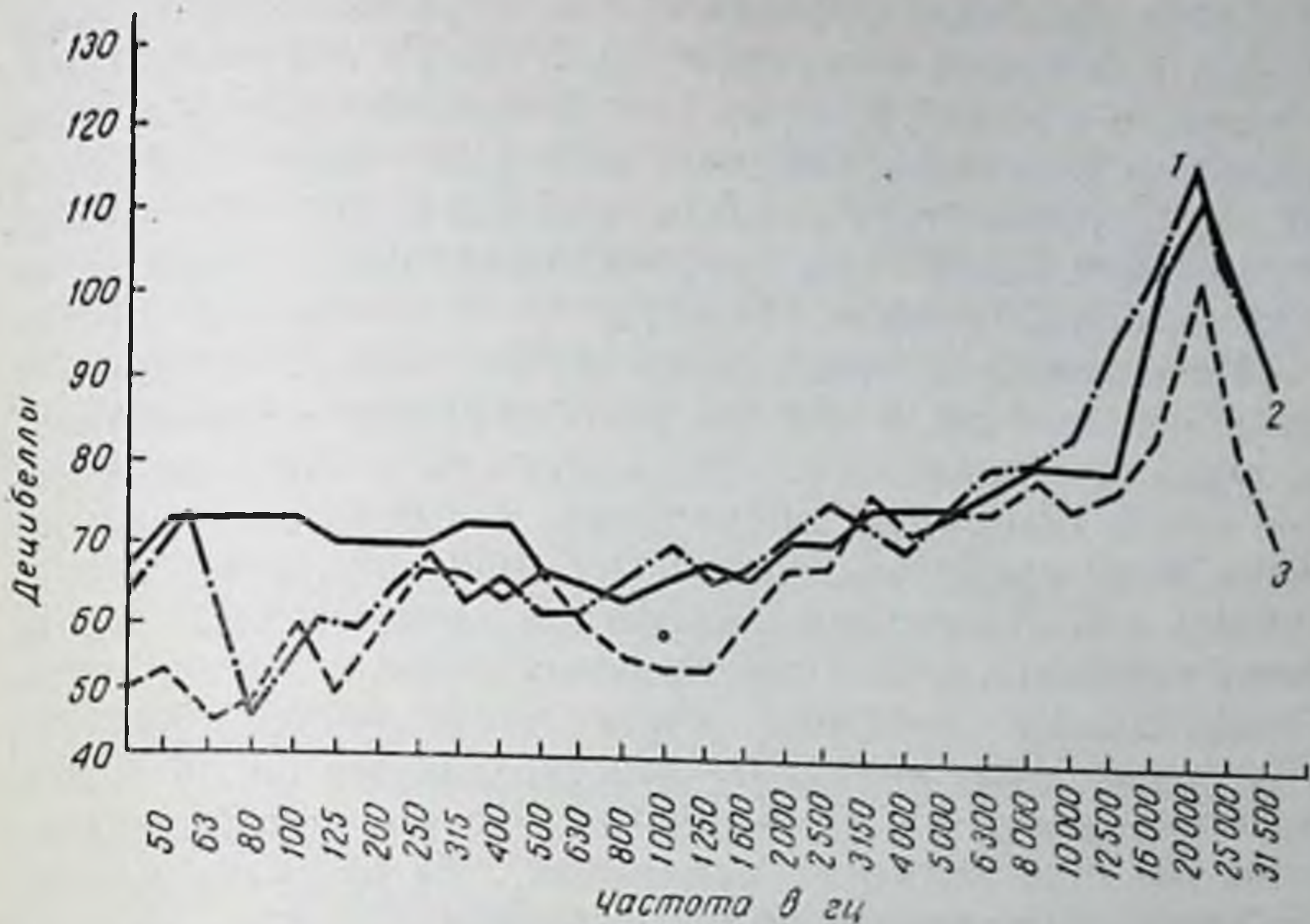


Рис. 71. Спектральное распределение звуковых и ультразвуковых колебаний при работе сварочной машины (1) и ультразвуковом резании (2 — микрофон в 25 см от резца; 3 — микрофон в 3 м от резца).

18—24 кгц. Максимальная его интенсивность при этих частотах может достигать 130—150 дб. К числу установок, дающих такой интенсивный ультразвук, следует отнести приборы для ультразвуковой очистки и обезжиривания деталей, механической обработки, сварки.

Принципиальная схема работы данных установок заключается в том, что за счет магнестрикционного преобразователя, работающего от переменного электрического тока определенной частоты, даваемого генератором частот, возникают механические колебания, вызывающие образование ультразвука в воздухе, в жидкости или твердых телах в зависимости от того, в какой среде установлен магнестрикционный преобразователь. Мощность применяемых акустических преобразователей составляет от 1,5 до 5 квт. В ультразвуковых приборах в зависимости от назначения может быть установлено от одного до четырех преобразователей, в результате чего их мощность может быть доведена до 10 квт. Магнестрикционные преобразователи дают широкий диапазон частот, включая слышимые звуки. На рис. 71 представ-

лено спектральное распределение звуковых и ультразвуковых колебаний от генератора УЗМ-10 сварочного аппарата, а в табл. 18 — при ультразвуковом резании. Как видно из рисунка и таблицы, в полосе частот от 16 до 30 кгц уровень силы звука максимален. Он составляет на рабочем месте при работе сварочной машины до 120 дб, при резании — 115 дб.

Интенсивность слышимого шума также достигает больших величин. Поэтому гигиеническая оценка ультразвука на производстве тесно связана с оценкой действия шума слышимых диапазонов. Это определяет сложность всей проблемы, поскольку действие шума пограничных с ультразвуком частотных диапазонов также очень слабо изучено. Относительно хорошо исследовано биологическое действие звука частотой до 5000 гц, а установленные нормы по действию шума на организм ограничиваются частотой 4000 гц. На рисунке представлены средние значения измерений. Если взять максимальные суммарные величины интенсивности ультразвука и звука в воздухе, образующихся при работе данных приборов, то они могут быть чрезвычайно высокими. Так, по данным З. С. Лисичкиной (1960, 1961, 1963), уровень силы ультразвука и звука на рабочих местах при очистке деталей моеющей ультразвуковой машиной составляет над ванной 128—130 дб, а на расстоянии 0,25—1 м — 116—122 дб. У сварочных машин на уровне уха работающего сила ультразвука равна 124—128 дб, а на уровне рук достигает даже 150 дб. У приборов для механической обработки материалов на рабочем месте уровень силы ультразвука и звука равен 117—123 дб. Даже на расстоянии свыше 2—3 м он составляет 111—116 дб.

Рассмотренная выше картина, характеризующая ультразвуковой и звуковой фон при наиболее распространенных промышленных процессах с применением ультразвуковой аппаратуры, показывает наличие высоких суммарных уровней ультразвукового и звукового давлений, где преобладающая часть обусловлена интенсивным ультразвуком. Как показывают данные экспериментальных исследований на животных (С. И. Горшков, 1959—1963; О. Н. Горбунов, 1962, 1963; Г. А. Антропов, 1963; Р. М. Никольская, 1962, 1963; И. Ф. Лакеева, 1963; М. Н. Коновалов, 1960; М. И. Новиков, 1960; И. П. Левшина, 1960), пороговые величины интенсивности ультра-

звука низкой частоты, распространяющегося в воздухе и оказывающего заметное действие на организм, ниже уровней, встречающихся на производстве. Рассматривая действие ультразвука на организм работающих, нужно, однако, учесть то обстоятельство, что они частично защищены от действия ультразвука рабочей одеждой. Как говорилось выше, установлено, что уже несколько слоев обычной бязи очень сильно поглощают ультразвук, снижая уровень силы проходящего звука на 15—20 дб.

Таблица 18

СУММАРНЫЙ УРОВЕНЬ ЗВУКОВОГО
И УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ (В ДЕЦИБЕЛАХ)
ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ РЕЗАНИИ

Расстояние микрофона от ультразвукового станка, м	0,25	1,0	2,0	3,0
Уровень суммарного звукового и ультразвукового давления, дб	117—124	111—118	109—116	101—103

Длительность работы на ультразвуковых установках в течение дня различна: от 2—3 до 4—5 часов и более. Продолжительная работа создает определенные предпосылки для увеличения вредного влияния ультразвука на организм. В частности, в эксперименте установлено, что озвучивание в течение более 4—5 часов представляет большую опасность по сравнению с озвучиванием в течение 1 или 2 часов, так как ультразвук оказывает аддитивное действие. Распространение низкочастотного интенсивного ультразвука через воздух на большие расстояния без заметного затухания создает условия для облучения лиц, непосредственно не связанных с работой ультразвуковой аппаратуры, но находящихся в том же помещении, где она установлена.

В связи с этим и состав профессий, подверженных действию ультразвука, самый различный. По данным Н. А. Ефимова и В. С. Лукьянова (1963), подвергаются действию в течение всего рабочего дня мойщицы деталей, травильщицы, серебрильщицы, обезжировщицы. Периодически соприкасаются в течение $\frac{1}{2}$ и $\frac{1}{3}$ рабочего дня при условии облучения только через воздух инженеры и мастера, электромонтеры, наладчики ультразвуко-

вой аппаратуры. Имеют редкий контакт административные работники и пр. Помимо действия через воздух, работники ряда профессий подвергаются действию ультразвука при контакте со средой, в которой ультразвуковые колебания образуются первично (жидкость в ваннах, металл обрабатываемых деталей и т. д.). Чаще всего это бывает во время обработки деталей при сверлении, сварке, пайке, лужении, в период загрузки и выгрузки деталей из ванны и т. д. В основном это обусловлено тем, что рабочие нередко нарушают порядок операций при загрузке и выгрузке деталей, не выключают генераторы. Контактное облучение очень кратковременно, оно, как правило, не превышает в течение рабочего дня нескольких минут. Однако это не снижает его опасности, поскольку мощность ультразвука в жидкости или от вибрирующих металлических частей ультразвуковых приборов может составлять 6—7 вт/см². Это в 2 раза слишком превышает оптимальный уровень лечебного воздействия высокочастотного ультразвука, равный 3 вт/см², как указывают Веиг и Доггер (1954), Wachsmann (1949) и Klage (1952). Технологический процесс при работе ультразвуковой аппаратуры не требует от работающих обязательного контакта с озвучиваемой средой. Поэтому простейшими мерами можно исключить влияние контактного облучения ультразвуком. В этом, конечно, должна сыграть свою большую роль санитарная пропаганда, а также использование простейших средств защиты в виде перчаток и различного рода инструментов (механические руки).

Особо следует остановиться на ультразвуке, образующемся в производственных условиях как побочный фактор, что имеет, например, место, как уже указывалось, при работе мощных моторов, реактивных и других авиационных двигателей, турбогенераторов, гидронасосов, кузнечных молотов, различного рода плазменных горелок и т. д. Этот ультразвук отличается от ультразвука специальных установок его чрезвычайно большая интенсивность при очень интенсивном шуме. Наиболее характерные частоты такого ультразвука расположены в диапазоне от 20 до 70 кгц. Максимальная интенсивность достигает 130—160 дб. Приведем некоторые данные образования побочного ультразвука при работе авиационных моторов и плазменных горелок. По данным исследо-

ваний З. С. Лисичкиной (1960), проводившихся на авиационной испытательной станции, во время испытания моторов уровень силы ультразвука на рабочем месте составляет 120 дб, а на расстоянии 5—6 м — 110—112 дб (табл. 19). При работе излучателя Сенклера на рабочем месте интенсивность ультразвука достигает 120 дб (табл. 20).

Таблица 19

ИНТЕНСИВНОСТЬ УЛЬТРАЗВУКА И ШУМА
ПРИ ИСПЫТАНИИ АВИАЦИОННЫХ МОТОРОВ

Место измерений	Ультразвук, дб	Шум, дб
В боксе		
На рабочем месте (во время запуска мотора)	120	140
Во время испытания мотора	120	130
На расстоянии 3—4 м от мотора	112	127
На расстоянии 5—6 м от мотора	112—110	127
В операторной (при закрытых дверях)	Показаний на приборе нет	110
В проходе между боксами	105	108—113

Таблица 20

ИНТЕНСИВНОСТЬ УЛЬТРАЗВУКА И ШУМА
ПРИ РАБОТЕ ИЗЛУЧАТЕЛЯ СЕНКЛЕРА

Место измерений	Интенсивность ультразвука	Уровень шума
	в децибелах	
В фокусе излучателя	162	70
У рабочего стола в 30 см от излучателя	120	65
На расстоянии 1 м от рабочего стола	120	60
В разных точках помещения на расстоянии 3—6 м от источника	107	50—55

По данным зарубежных исследователей, в аналогичных условиях могут наблюдаться и значительно более высокие уровни силы звука. Следует отметить, что, по

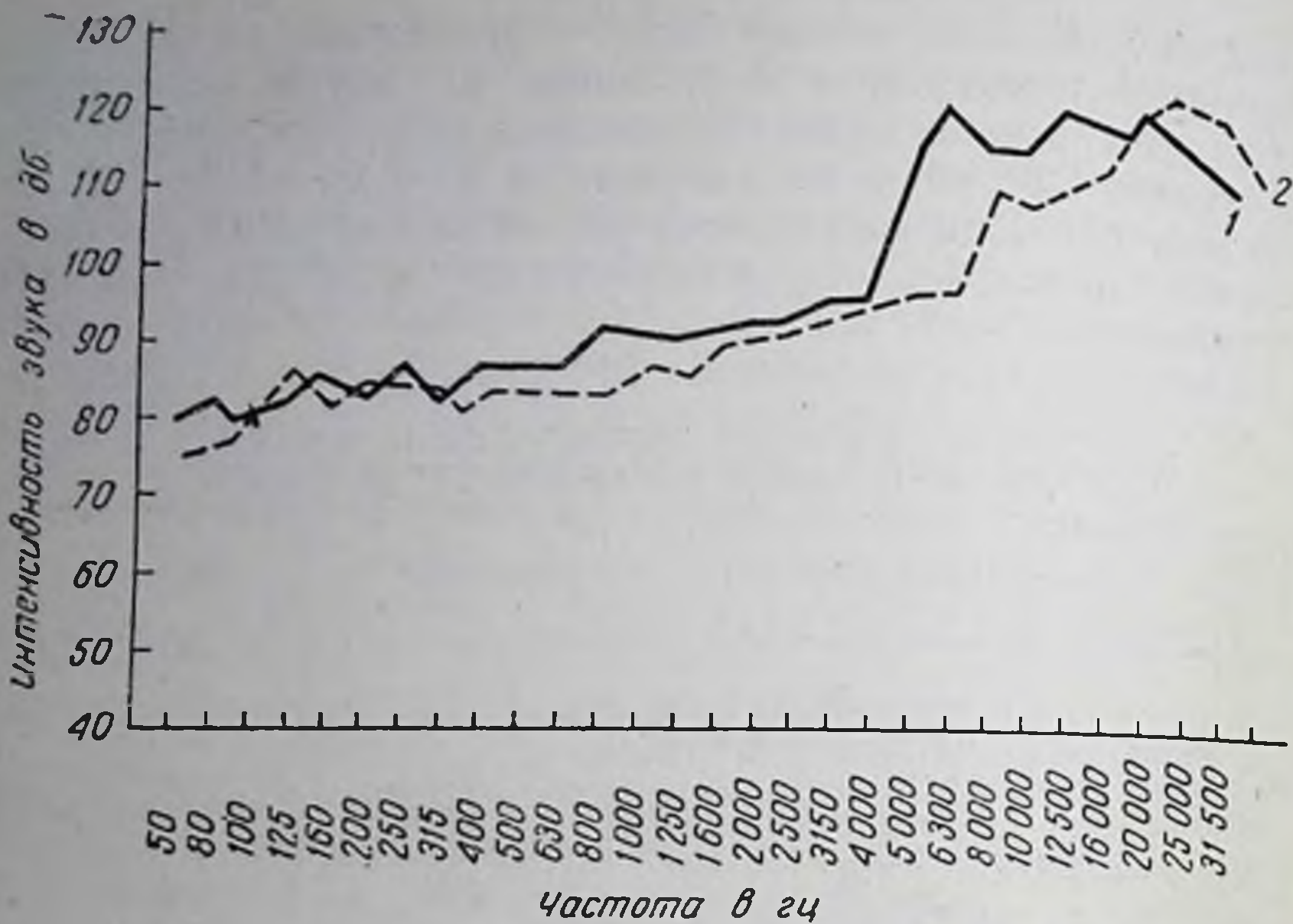


Рис. 72. Спектральное распределение звуковых и ультразвуковых колебаний при работе порошковой горелки (1) и проволочной горелки (2).

данным Allen, Frings, Rudnick (1948), Eldredg, Pargack (1949), Danner, Ackerman, Frings (1954), Bugard, Souvras, Valade, Cost, Salle (1953), ультразвук интенсивностью порядка 144—160 дб уже может вызывать смертельное поражение. А такие интенсивности нередко наблюдаются при работе реактивных моторов (Grognot, 1953; Bugard, 1958).

Нанесение тугоплавких покрытий из алюминия и циркония с помощью дуговой плазмы — сейчас довольно широко распространенный технологический процесс. Интересно, что и он сопровождается образованием довольно интенсивных ультразвуков. Дело в том, что при прохождении под давлением 2—3 атм. через узкое отверстие плазменной горелки газов (аргон, водород, гелий и др.), являющихся источником плазмы, в результате аэродинамического эффекта образуется ультразвук. Его максимальная интенсивность достигает 128—130 дб. На рис. 72 представлено спектральное распределение (по З. С. Лисичкиной) звуковых и ультразвуковых колеба-

СУММАРНЫЙ УРОВЕНЬ ЗВУКОВОГО И УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАВЛЕНИЯ (В ДЕЦИБЕЛАХ) ПРИ РАБОТЕ ПЛАЗМЕННЫХ ГОРЕЛОК

Расстояние от микрофона до производственной установки (в м)		0.5	1.0	2.0	3.0	5.0
Суммарный уровень	Проволочная горелка	128—130	119—122	115—117	112—115	95—97
	Порошковая горелка	126—127	118—122	117—129	113—116	95—98

ний при работе порошковой и проволочной горелок, а в табл. 21 — суммарный уровень давления. Максимальные уровни силы звука наблюдаются в пределах частот от 6000 до 25 000 гц.

Рассматривая ультразвук как производственный фактор, который может оказать влияние на организм работающих, следует учитывать возможность комбинированного действия его с рядом химических и физических факторов. Так, например, при отдельных операциях, где используется ультразвуковая аппаратура, применяются кислоты, щелочи, бензин, смеси ацетона, спирта и т. д., дающие интенсивное испарение. Правда, концентрация их, как правило, в воздухе помещений невелика и не превышает предельно допустимых количеств, однако не исключено их вредное влияние в комбинации с ультразвуком. Возможно совместное действие на организм ультразвука и высокой или низкой температуры, вибрации и шума, ионизирующих излучений.

2. ИЗМЕНЕНИЯ В ОРГАНИЗМЕ РАБОТАЮЩИХ С УЛЬТРАЗВУКОМ

При изучении влияния ультразвука на организм работающих с самого начала имелся целый ряд трудностей. Сюда в первую очередь нужно отнести отсутствие достаточно четкой картины механизма биологического

действия ультразвука, распространяющегося через воздух, а также разработанной системы биологической дозиметрии.

Исследования биологического действия ультразвука на производстве проводятся с 1959 г. За последние несколько лет на основании широких клинических, физиологических и биохимических исследований у работников ультразвуковых силовых установок выявлен ряд изменений в организме, свидетельствующих об определенной форме профессиональных нарушений, которые следует связывать с действием ультразвука. Пока мы имеем достаточно полное представление только о некоторых из них. До сих пор остаются не вполне ясными вопросы о зависимости сдвигов в организме от стажа работы, условий облучения, о характере развивающихся изменений в организме в зависимости от состояния здоровья рабочих перед поступлением на работу, связанную с ультразвуком, и т. д.

В настоящее время на основании исследований на производстве, а также экспериментов на животных можно дать предварительную оценку ультразвуку как производственной вредности.

Его действие на организм в течение относительно небольшого времени вызывает изменения в нервно-эндокринной системе в виде нейро-вегетативных расстройств, заметных сдвигов в функции гипофиза и щитовидной железы, половых желез, надпочечников, нарушения процессов терморегуляции, расстройства вестибулярного аппарата, а также сдвиги в сердечно-сосудистой системе, в морфологическом составе периферической крови и ряде биохимических показателей. Налицо преобладающее поражение нервной системы, что является, по данным ряда авторов, изучавших контактное действие высокочастотного ультразвука (Stuhlfauth, 1951; Woeber, 1949; Conte и Delorenzi, 1940; Ladeburg, 1949; Kleifeld, 1953; Н. А. Белая и др., 1959; Н. Ф. Свядковская, 1960, 1961, и др.), весьма для него характерным. Как известно (И. Г. Полоцкий, С. С. Уразовский, 1946), нервная система по отношению к ультразвуку обладает избирательностью поглощения. Поражаемость нервной системы определяется и чрезвычайно резко выраженными индивидуальными различиями в чувствительности к ультразвуку.

В настоящее время сотрудниками Института имени Эрисмана на производстве обследовано несколько сотен человек, имеющих стаж работы с ультразвуком от нескольких месяцев до 8 лет. Большое различие в условиях действия ультразвука, а также разнообразие индивидуальной чувствительности, несмотря на большое количество исследований, все же позволяют достаточно четко очертить круг симптомов, который дал бы возможность говорить об «ультразвуковой болезни», как это пытаются делать некоторые авторы (Phaggis, 1948).

Нарушения в организме, которые известны в настоящее время, получены при исследованиях относительно большого числа случаев среди работающих в условиях воздействия ультразвука при его максимальной интенсивности порядка 110—130 дб и частоте от 16 до 25 кгц. Продолжительность работы с ультразвуком составляла в день от нескольких часов до полного рабочего дня (с перерывами) при большой физической нагрузке и непрерывном производственном процессе. Часть обследованных подвергалась действию ультразвука через воздух, находясь в звуковом поле в основном на расстоянии 30—35 см от источника, а также контактному облучению.

Нарушения общего состояния организма, изменения со стороны нервной системы, которые наблюдались примерно у половины обследованных, проявлялись развитием астенического и астено-вегетативного синдрома, имеющего некоторые своеобразные черты. По данным Н. А. Ефимова, В. С. Лукьянова (1963), А. С. Мелькумовой и В. А. Королевой (1963), характерно появление в ряде случаев отклонений в психической сфере в виде устрашающих видений в момент засыпания, ощущений невесомости, коротких приступов безволия, булимии в одних случаях и ухудшения аппетита в других, появления сомнамбулизма (ночного страха и снохождения). Согласно Allen и др. (1948), Eldredg и др. (1949), Heindrich (1959) и др., при действии интенсивного ультразвука, распространяющегося в воздухе, у людей наблюдается недомогание, легкое головокружение, что может быть связано с нарушением чувства равновесия, появление во рту чувства покалывания. Для лиц, работающих вблизи реактивных самолетов, а также с кузнечными и пневматическими молотами, характерно появление чувства необычайной усталости.

Следует отметить, что при действии шума слышимых диапазонов также могут иметь место аналогичные расстройства. Jansen (1959) при исследовании 1005 работающих в условиях шума отметил в их нервной системе заметные сдвиги по сравнению с работниками нешумовых профессий. Поскольку трудно разделить в данном случае действие ультразвука и звука слышимого диапазона, который сопровождает его в больших интенсивностях, то можно оценивать астено-вегетативные расстройства как результат совокупного их действия на организм. Существует мнение (Н. Н. Шаталов, М. Н. Рыжкова и др., 1961), что астено-вегетативные нарушения, обнаруживаемые у работников ультразвуковых производств, не связаны с действием ультразвука и, по-видимому, определяются только влиянием слышимого шума.

Данные З. С. Лисичкиной (1962), полученные при исследовании лиц, подвергавшихся исключительно действию низкочастотного ультразвука при полном отсутствии шума слышимых диапазонов, указывают на его заметное влияние на вегетативные функции. Это же подтверждается жалобами работающих в условиях ультразвука на производстве. Около половины всех обследованных на вопрос, заметили ли они какое-нибудь действие на них ультразвуковых установок, отмечали появление головных болей, болей в сердце, поташнивания по утрам, ухудшения слуха, шума в ушах, неуверенности в ходьбе, быстрой утомляемости, разбитости к концу рабочего дня, болей во всем теле, плохого сна. Очень характерно, что у лиц, попадающих в поле чистого ультразвука порядка 115 дБ при частоте 16—20 кгц, уже в первые минуты «закладывает» уши примерно так, как это происходит при изменении высоты самолетом. При выходе из ультразвукового поля наблюдается аналогичная картина. В определенном числе случаев с началом работы на ультразвуковых установках работающие отмечали появление акроцианоза, потливости рук, похолодания конечностей, приступов бледности или, наоборот, покраснения лица, обмороков, неустойчивости реакций и т. д. Данные объективных исследований указывают на то, что ухудшение памяти или, например, нарушение вестибулярной функции (Я. С. Темкин, П. С. Кубланова, 1963) является особенностями, почти наверняка связанными с действием ультразвука, а не

шума слышимых диапазонов, когда вестибулярная функция не страдает.

О том, что ультразвук оказывает определенное действие на вестибулярный аппарат, в настоящее время получены вполне очевидные факты. Так, на появление у рабочих по испытанию моторов, подвергающихся действию обычного шума и ультразвука в диапазоне частот до 65 кгц, расстройств равновесия и понижения слуха указывает Bugard. Из субъективных жалоб у работающих на ультразвуковой очистке и сварке отмечают ощущение давления в ушах во время работы, остающееся и после работы, некоторую неуверенность походки. При углубленном обследовании 81 рабочего (Я. С. Темкин, П. С. Кубланова, 1963) обнаружено две группы нарушений: 1) угнетение вестибулярной возбудимости при вращении и калоризации (у 14 рабочих); 2) отсутствие экспериментального нистагма в одну или обе стороны при одной или обеих вестибулярных пробах (у 10 рабочих). Интересно, что при резких отклонениях в калорическом и вращательном нистагме другие рефлекторные реакции — соматические и вегетативные — сохранены. Вестибулярные нарушения установлены у лиц со стажем работы на ультразвуковых установках свыше 18 месяцев. При стаже работы 4 месяца изменений вестибулярной и слуховой функций не отмечено. Сдвиги в слуховом аппарате характеризуются главным образом в виде понижения восприятия высоких тонов, часто на одно ухо, а в некоторых случаях и низких тонов, понижения восприятия звуков в пределах 10—40 дб по всему диапазону частот. Я. С. Темкин и П. С. Кубланова отвергают, по крайней мере у части рабочих, периферическое или лабиринтное поражение как причину нарушения вестибулярной функции. Они предполагают, что в основе нистагменной реакции лежат преимущественно функциональные сдвиги в центральной нервной системе.

Однако небольшое число динамических наблюдений не дает оснований для такого общего теоретического заключения. Как известно, имеются данные (Tullio, Storti, 1938; Frinken, Partsch, 1959; Naumann, 1951; И. В. Орлов, 1962) о том, что вестибулярный аппарат в отличие от слухового может воспринимать колебания давления с частотой несколько десятков и сотен килогерц, т. е. он как бы может являться адекватным воспринимающим

органом для ультразвуковых колебаний. Поэтому не исключено преимущественное поражение за счет ультразвука именно лабиринта.

В недавних исследованиях Векс (1959) выявлены уже при небольшой дозе ультразвука расширение энхондрального слоя и пролиферация эндооста со стороны костной капсулы лабиринта. Одновременно им обнаружены нарушения обмена в волосковых клетках кортиева органа, поражение структур улитки и разрушение наружных волосковых клеток кортиева органа. Наряду с этими данными, как ни странно, существует мнение (Degobert, 1954; Hunter, 1959; В. М. Григорьева, 1962) о том, что ультразвук, распространяющийся в воздухе, не может оказать какое-либо действие на орган слуха прямо или косвенно, так как он не является адекватным раздражителем. Koelsch (1959) считает, что в современных производственных условиях профессиональная патология за счет ультразвука невозможна, а жалобы рабочих на головокружение, закладывание ушей, тошноту, связаны с действием звуков среднего и низкого диапазона, а возможно, и вибрации. «Чистые» опыты с действием одного ультразвука «без примеси» шума слышимых диапазонов, которые в настоящее время проведены, эти мнения полностью опровергают (В. А. Королева, 1964, Добросердов, 1964).

К числу особого по отношению к слышимым звукам действия ультразвука следует отнести его влияние на процессы терморегуляции. Если шум, по данным С. И. Горшкова и С. С. Вишневской (1960), вызывает повышение кожной температуры при понижении общей температуры тела, например у работников текстильного производства (ткачих, прядильщиц), то ультразвук при наличии шумового компонента вызывает у работающих с ультразвуковыми приборами заметное повышение температуры не только кожи, но и тела (табл. 22). К концу работы, например, у 50% рабочих температура тела повышалась на 0,5—0,7°, а иногда на 1° и выше. В контрольной группе работающих в тех же условиях, но вне влияния ультразвуковых установок, повышение температуры тела было только в 12% случаев, причем оно не превышало, как правило, 0,5°. В 69% случаев при действии низкочастотного ультразвука установлено повышение температуры кожи лба на 1—2°. В эксперименте по

ТЕМПЕРАТУРА ТЕЛА У ЛИЦ ПОСЛЕ РАБОТЫ
В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА
В ТЕЧЕНИЕ РАБОЧЕГО ДНЯ

Группа исследуемых	Время исследования	Температура тела				
		до 36°	36—36,9°	37—37,1°	37,2—37,4°	37,5° и выше
Основная	До работы	3,5%	83,7%	9%	3,5%	—
	После »	—	54,2%	26,8%	16%	2,8%
Контрольная	До работы	5,1%	93,2%	1,7%	—	—
	После »	2,4%	87,2%	6,8%	3,4%	—

изучению действия «чистого» ультразвука в большинстве случаев отмечено преимущественное повышение температуры тела совместно с повышением температуры кожи отдельных участков тела (рис. 73 и 74), устанавливаемое или сразу после озвучивания, или через 45 минут после его окончания.

З. С. Лисичкина считает (1962) нарушение процессов терморегуляции несомненным результатом действия ультразвуковых волн, поскольку, по данным литературы, гипертермия представляет проявление специфического (теплого) действия ультразвука. Из данных Р. М. Ни-

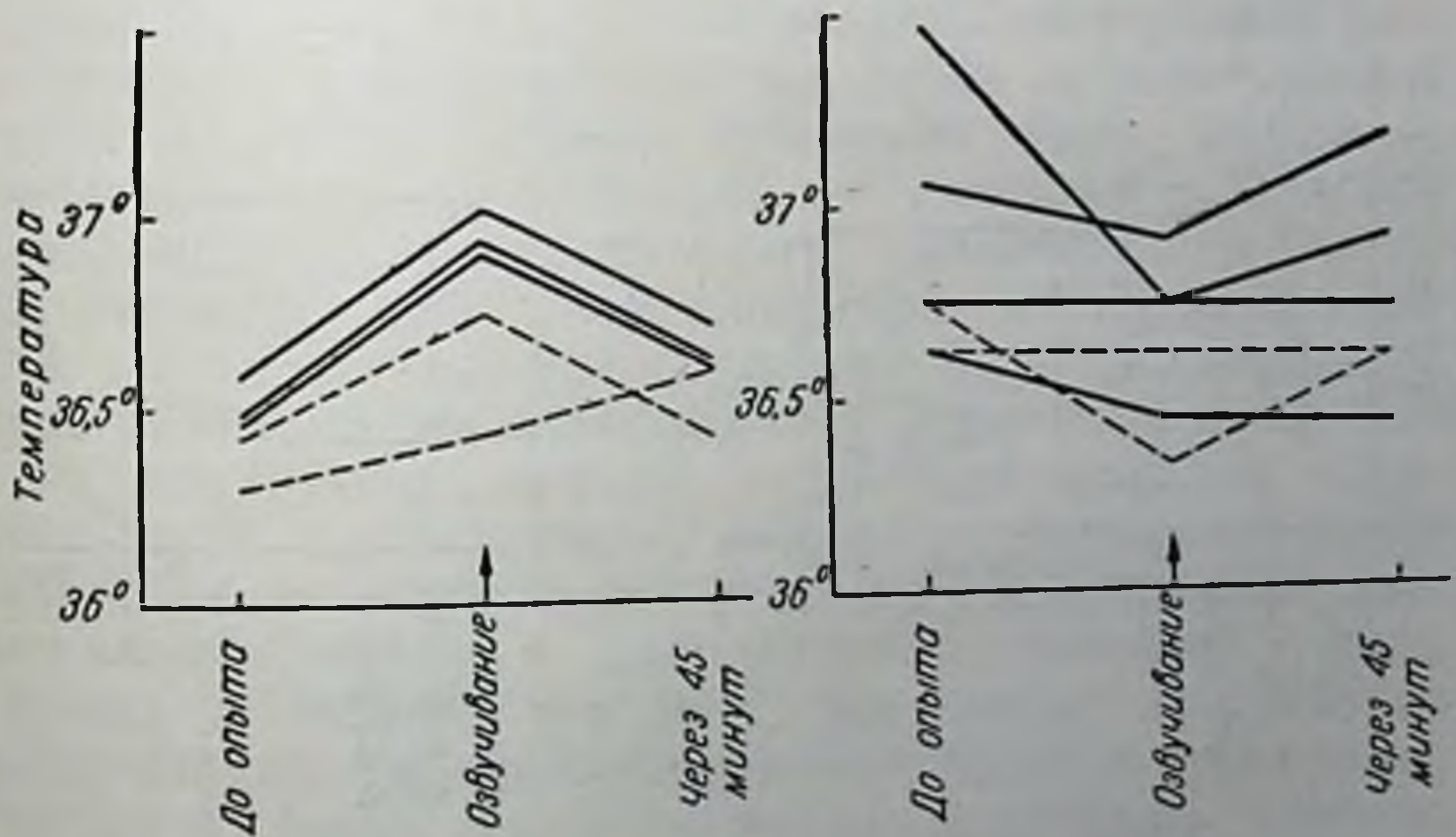


Рис. 73. Характеристика сдвига температуры тела при воздействии ультразвуком у людей.

кольской (1963) известно, что под влиянием ультразвука, распространяющегося в воздухе, в организме резко усиливается тканевое дыхание мозга, печени и, по-видимому, других органов. Это в определенной степени раскрывает причину нарушения процессов терморегуляции, которые выявляются повышением температуры тела. Однако нарушения терморегуляции, очевидно, имеют более сложный механизм. На это указывают Н. А. Ефимов и В. С. Лукьянов (1963), связывающие расстройства в терморегуляции с нарушением регулирующей деятельности нервной системы. В результате возникает тепловая неустойчивость и в ответ на обычные раздражители, ранее вызывавшие небольшое или умеренное повышение температуры, наблюдается ее резкое повышение. В частности, при заболеваниях нетяжелой ангиной или легким катаром верхних дыхательных путей у лиц, работавших в условиях ультразвука, наблюдалось повышение температуры до 41° с десятыми. В ряде случаев обнаружена тепловая асимметрия конечностей.

С целью выяснения характера изменений в центральной нервной системе у работающих с ультразвуковыми силовыми установками были проведены специальные исследования: измерение скрытого времени рефлекторных реакций (З. С. Лисичкина, 1960, 1962), анализ био-токов коры головного мозга (П. И. Шпильберг, 1963),

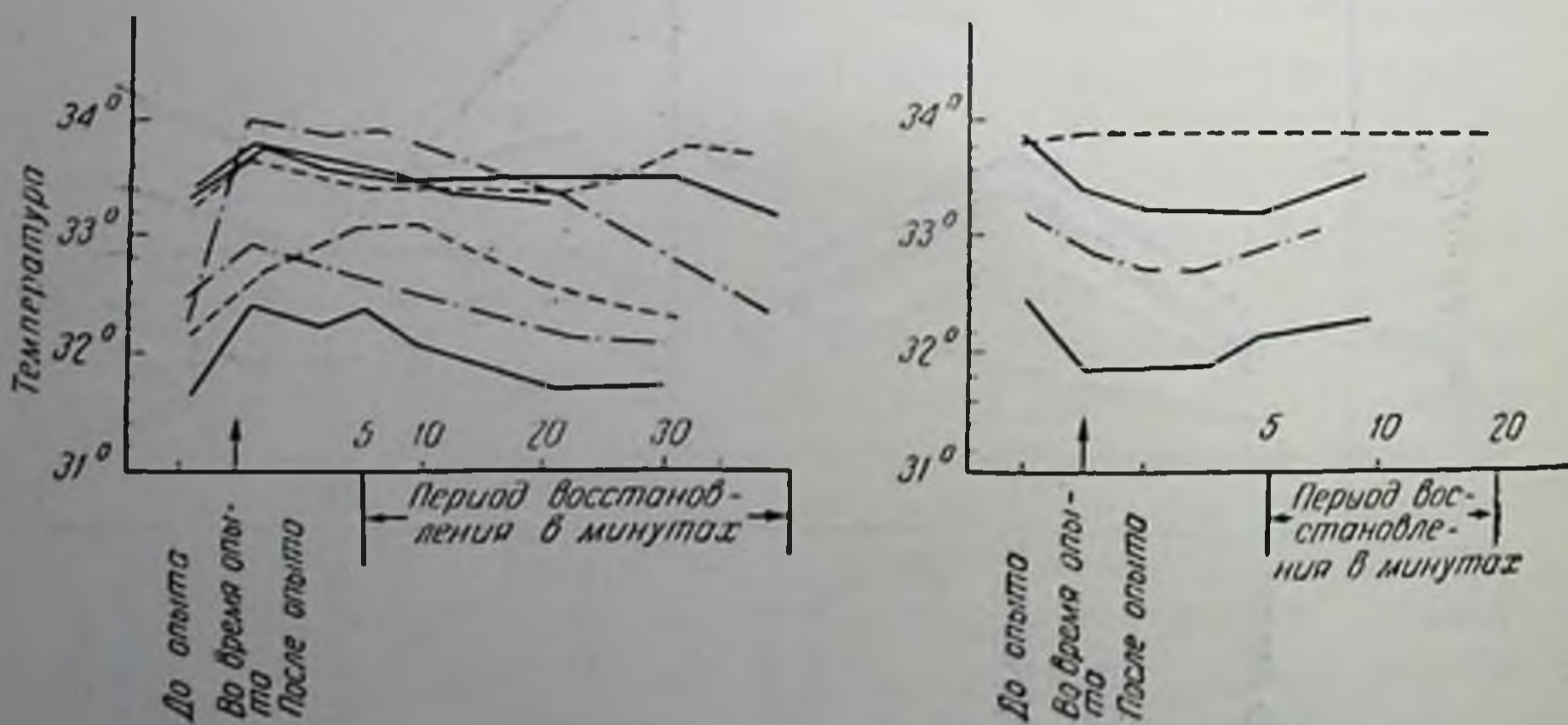


Рис. 74. Динамика сдвига температуры кожи лба при воздействии ультразвуком у людей.

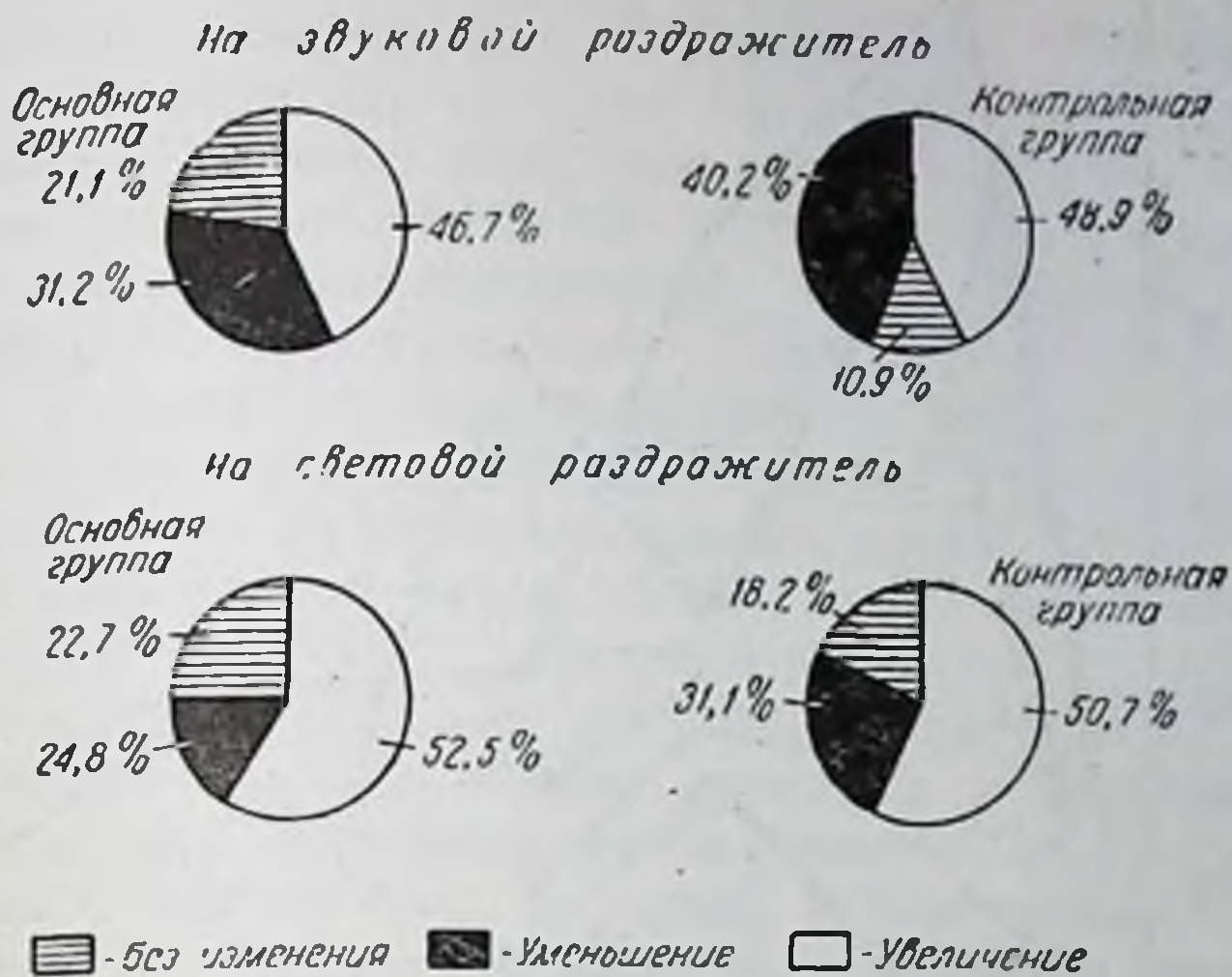


Рис. 75. Изменение латентного периода нервной реакции на свет и звук у лиц, подвергавшихся действию ультразвука в производственных условиях и в контрольной группе.

а также состояния периферической нервно-сосудистой системы (А. С. Мелькумова, В. А. Королева, 1963). З. С. Лисичкина провела исследование латентного периода зрительно-моторной реакции на световой раздражитель, а также слуховой реакции на звуковой раздражитель в конце рабочего дня. Если в контрольной группе во многих случаях отчетливо было выражено укорочение времени реакции на световой и звуковой раздражители, то в основной группе в большем числе случаев имелось или увеличение скрытого времени реакций, или отсутствие изменений (рис. 75). Это в известной мере указывало на преобладание тормозных процессов в соответствующих отделах нервной системы под влиянием шума и ультразвука, которому подвергались работающие основной группы. Это же подтверждают данные экспериментов в лабораторных условиях, когда удалось установить, что сразу же после озвучивания ультразвуком при частоте примерно 22 кгц и интенсивности 110 дб время зрительно-моторной реакции заметно увеличивается, а восстанавливается до исходного уровня только через 30 минут и более (рис. 76). Аналогичные

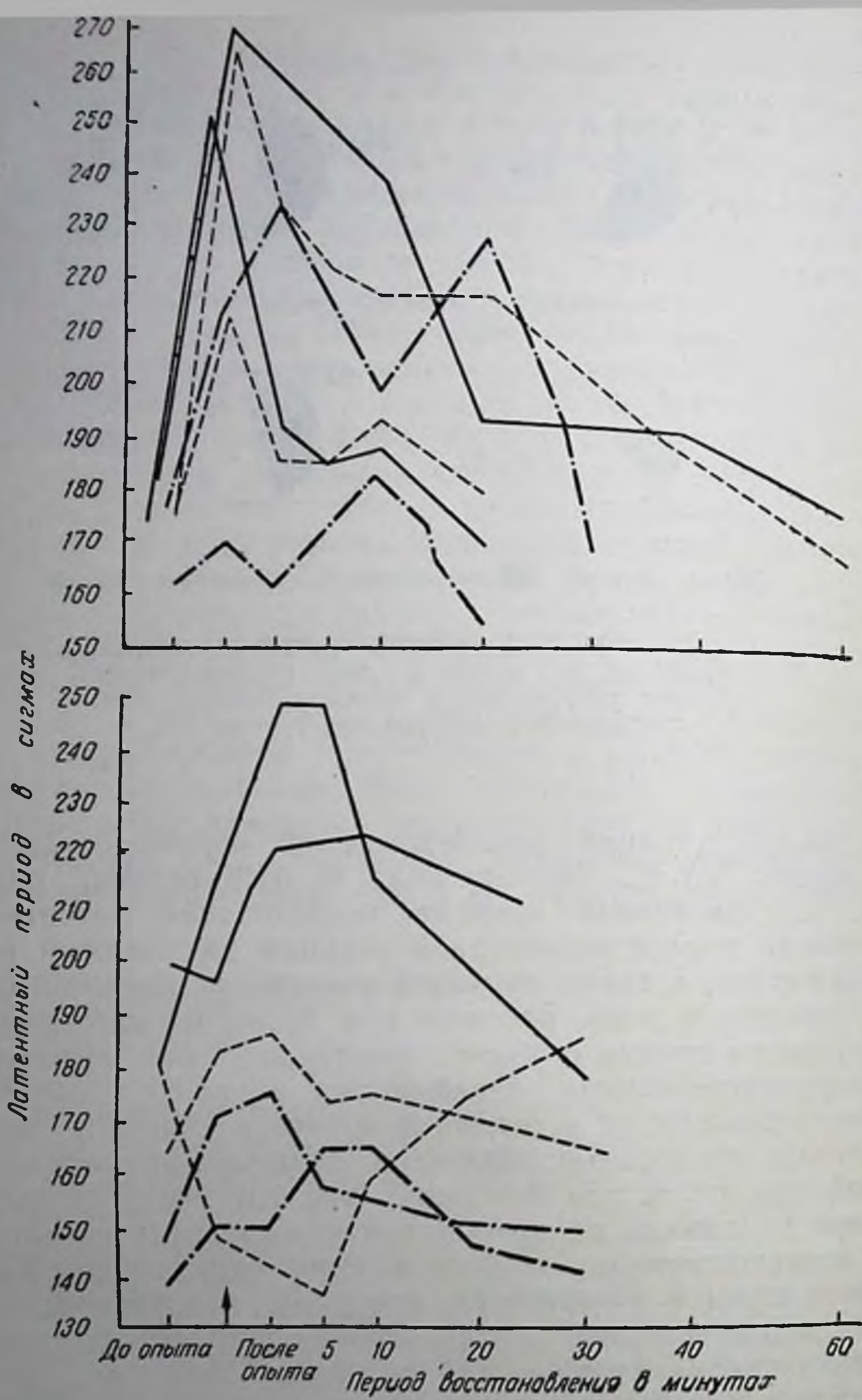


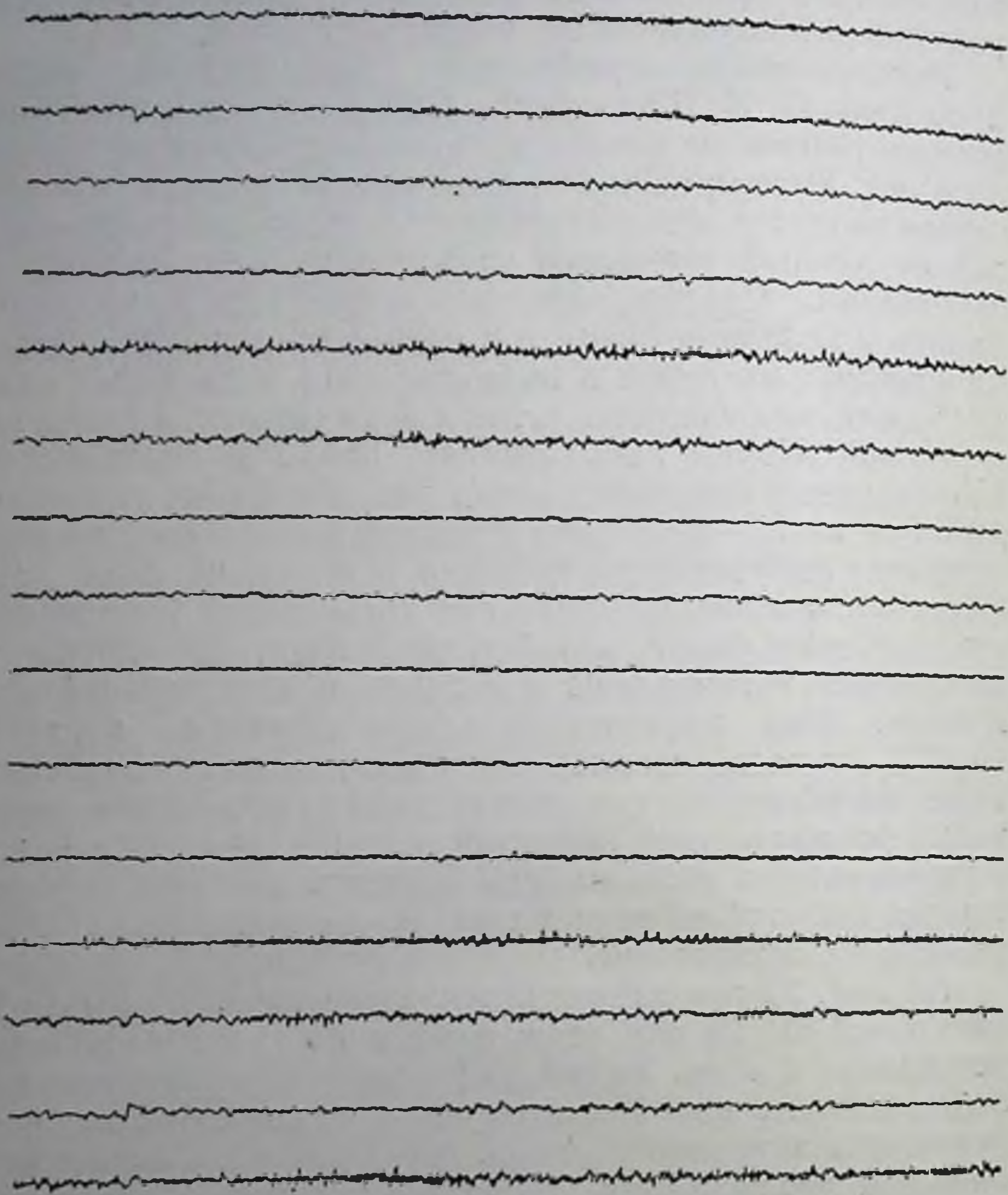
Рис. 76. Динамика сдвига латентного периода зрительно-моторной реакции у лиц, подвергавшихся действию ультразвука (индивидуальные кривые).

Стрелкой показан момент воздействия ультразвука.

данные были получены С. И. Горшковым (1959) на животных. Он отметил, что при большей интенсивности озвучивания процесс восстановления скрытого времени реакций растягивается до нескольких суток.

Электроэнцефалографические исследования были проведены П. И. Шпильберг (1963) у 51 человека со стажем работы на ультразвуковых установках от 1 года до 6 лет. Регистрация биотоков коры головного мозга осуществлялась путем отведения электрических потенциалов от лобных, теменных, затылочных областей обоих полушарий. Снятие электроэнцефалограмм производилось в условиях покоя и в случае применения функциональных нагрузок в виде световых и звуковых раздражений, как одиночных, так и ритмических, а также их сочетаний. Кроме того, делалась проба дыхания путем 1½-минутной гипервентиляции или, наоборот, задержки дыхания на 20—30 секунд. У большей части лиц, подвергавшихся действию ультразвука и шума, на фоне развившихся к концу рабочего дня повышенной утомляемости, головных болей, ослабления памяти, подавленного настроения установлены изменения в электроэнцефалограмме. Они характеризовались главным образом (в 46% случаев) появлением нерегулярных колебаний очень малой амплитуды, отсутствием при звуковых и световых раздражениях заметной реакции, что согласуется с результатами исследования скрытого времени рефлекторных реакций на звук и свет, когда также было обнаружено их торможение.

На рис. 78 представлена электроэнцефалограмма обследуемой О., 29 лет, стаж работы на ультразвуковых установках 4 года. Видны диффузные нерегулярные колебания очень малой амплитуды. При звуковом раздражении нет заметной реакции. Не было реакции и при световом раздражении. Указанные данные в известной мере подтверждают мнение тех исследователей, которые считают, что ультразвук действует на центральную нервную систему. Среди других изменений в электроэнцефалограмме, которые были обнаружены в 56% случаев, следует отметить появление групп регулярных альфа-волн. На рис. 79 представлена типичная электроэнцефалограмма, где видны подобного рода изменения. Так, если в покое имевшиеся альфа- и бета-волны в некоторых случаях представлялись в виде веретен, то после



1 сек] 50 мкВ

Рис. 77. Электроэнцефалограмма работницы О-й, работавшей на ультразвуковых установках 4 года. Биоэлектрические колебания во всех отведениях имеют очень маленькую амплитуду.

Отведения сверху вниз: правое и левое лобные, центральные, височные, височно-теменные, теменно-затылочные, теменные, затылочные.

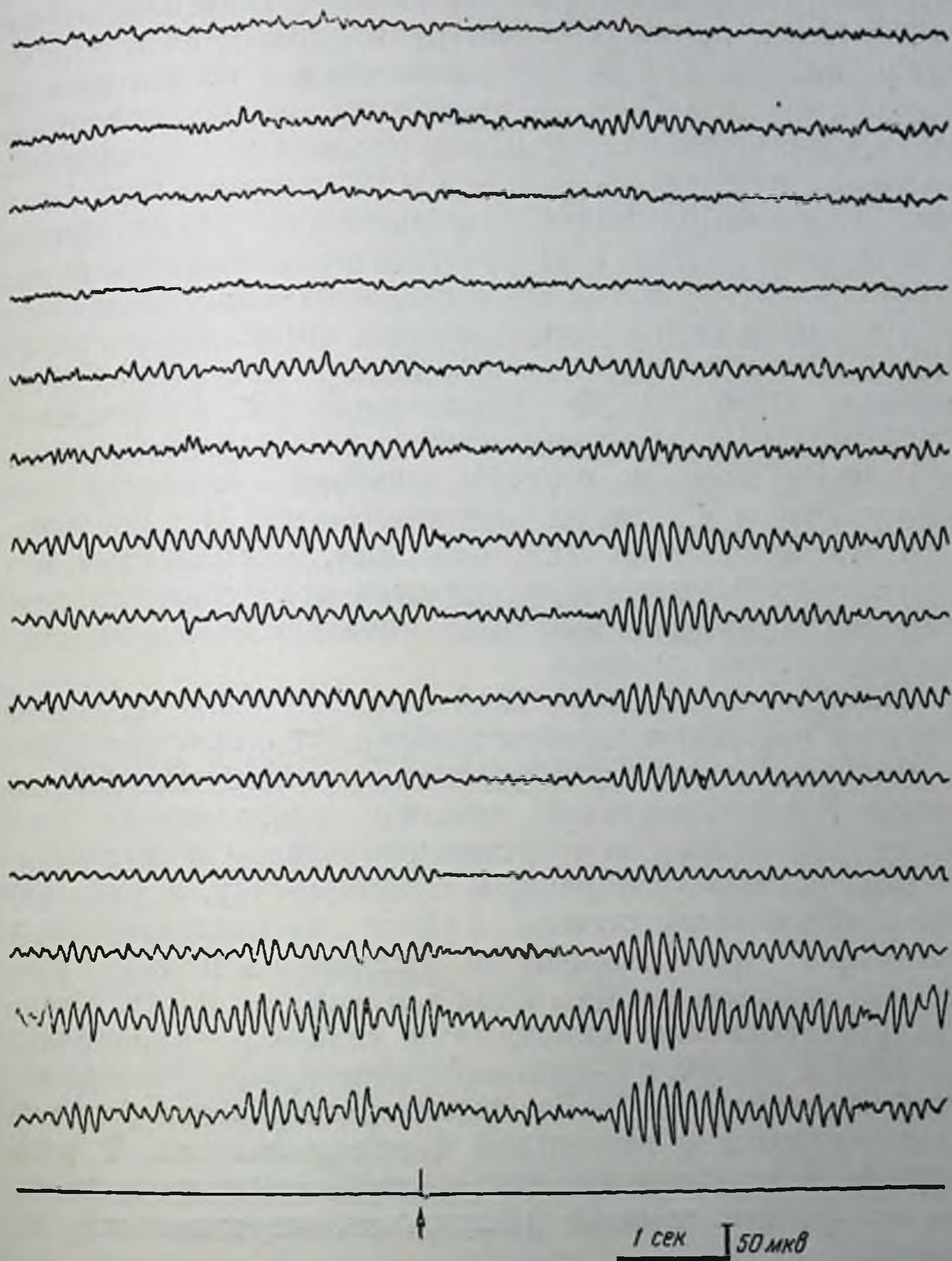


Рис. 78. Электроэнцефалограмма с выраженными веретенами; отведения те же, что на рис. 77.

подачи звукового раздражения веретена альфа-волн в затылочной области стали двусторонне синхронизированными. По данным Л. А. Андреева и П. И. Шпильберг (1940, 1948), такого рода изменения, как плоские волны, являются показателем торможения и истощения в центральной нервной системе, нарушения корково-подкорковых взаимоотношений. В норме плоская электроэнцефалограмма встречается только в 10% случаев. Она была обнаружена Bugard (1959) у летчиков, подвергшихся действию ультразвука на реактивных самолетах. В экспериментах на животных после облучения ультразвуком частотой 28 и 54 кгц и уровне силы звука выше 110 дб появление плоских волн было отмечено М. С. Новиковым (1960), И. Ф. Лакеевой, Г. А. Антроповым (1962, 1963). Синхронизированные волны указывают на усиление влияния со стороны глубоких структур подкорки. Это, в частности, отмечают С. И. Горшков, Г. А. Антропов, И. Ф. Лакеева (1962), установившие, что под влиянием ультразвука во всех отведениях (теменных, височных и затылочных) появляются волны, синхронные ритму дыхания.

Нарушения в центральной нервной системе, возникающие под влиянием ультразвука, усиливаются явлениями поражения периферических отделов нервной системы. Комбинированное действие ультразвука через воздух совместно с контактным облучением в этом отношении дает наиболее раннюю симптоматику. У работников с наибольшим стажем работы на ультразвуковых установках часты жалобы на онемение в пальцах рук. В ряде случаев имелись боли в руках и ногах. Очень распространенными симптомами являлись акроцианоз пальцев и кистей и локальный гипергидроз. У большинства обследованных наблюдались расстройства болевой, температурной и тактильной чувствительности. В ряде случаев тактильная чувствительность снижалась до того, что работниками не различалась шероховатость деталей.

С помощью капилляроскопии удалось установить у многих явления ангионевроза со штопорообразной извитостью артериальных и венозных ветвей, а в 33% наблюдений — картину ангиоспазма с редкой капиллярной сетью (2—3 капилляра на бледном фоне). Из 58 обследованных (В. А. Королева) у 15 человек обнаружено за-

метное снижение кожной температуры на фалангах пальцев на 6—7° ниже нормы, а у 26 лиц наблюдалась термоасимметрия пальцев и кистей с разницей в 1—1,5°.

Таким образом, для действия ультразвука в сочетании с шумом на периферические отделы нервной системы в производственных условиях характерными являются вегетативный полиневрит и вазо-вегетативные расстройства, что было отмечено в 41% к общему числу обследованных. В 17% были установлены начальные признаки нейрососудистых нарушений. Следует отметить, что примерно в половине случаев симптомы вегетативного полиневрита возникали только при действии ультразвука через воздушную среду. В этой связи необходимо отметить данные О. Н. Горбунова (1963) о непосредственном влиянии ультразвука на кожу: при облучении животных через воздушную среду резко усиливается проницаемость кожи по отношению к радиоактивному йоду.

Со стороны сердечно-сосудистой системы под влиянием ультразвука и шума появляется урежение пульса к концу рабочего дня (табл. 23), что подтверждается ис-

Таблица 23

ЧАСТОТА ПУЛЬСА У ЛИЦ, ПОДВЕРГШИХСЯ В ПРОЦЕССЕ РАБОЧЕГО ДНЯ ВОЗДЕЙСТВИЮ ПРОИЗВОДСТВЕННОГО УЛЬТРАЗВУКА

Группа исследуемых	Время исследования	Частота пульса, удары в минуту		
		до 60	61—80	81—90 и выше
Основная	До работы	4,6%	64%	31,7%
	После »	5%	74,9%	20%
Контрольная	До работы	11,2%	66,4%	22,4%
	После »	11,2%	62,1%	26,8%

следованиями электрокардиограммы, проведенными А. Г. Генкиным (1963), который отметил характерную брадисистолию. В ряде случаев имелось нарушение внутрипредсердной проводимости. У большей части работающих отмечена тенденция к гипотонии.

Морфологический состав периферической крови весьма чувствителен к действию ультразвука на организм животных и человека. В опытах с высокочастотным ультразвуком при контактном облучении это отчетливо уста-

новили А. Н. Онанов (1957), К. Д. Эристави и др. (1955), М. Ф. Сиротинина (1959, 1960) и др. При облучении же через воздушную среду изменение числа главным образом белых кровяных телец (эозинофилов, моноцитов, палочкоядерных нейтрофилов) отмечали И. П. Левшина (1960), З. С. Лисичкина, Л. Б. Юшкевич (1963), В. С. Складская (1963), Bugard (1958), Grognot (1951), Mappers (1955) и др. По данным Grognot (1951, 1953), наиболее лабильным является показатель изменения количества эозинофилов. Со стороны эозинофилов реакция наблюдается уже при облучении человека ультразвуком интенсивностью около 95 дб. Изменение числа эозинофилов происходит двояко. В первый период, как правило, может быть эозинофилия, а в дальнейшем развивается эозинопения. И. П. Левшина, Л. Б. Юшкевич и В. С. Складская связывают изменения эозинофилов с перераспределительными явлениями в крови. Причины этого могут быть весьма сложными, учитывая, что при действии ультразвука заметно страдает система гипофиз — щитовидная железа — надпочечники, которая влияет на содержание эозинофилов в крови, хотя, например, проба Торна в ряде случаев не дает изменений.

Действие ультразвука на организм сопровождается весьма глубокими биохимическими сдвигами, к числу которых относятся нарушения в сахарном обмене, в составе белков крови, в витаминной насыщенности организма. Это было обнаружено при двухлетнем обследовании (1959—1961) около 100 работников ультразвуковых установок со стажем работы до 1 года.

Содержание сахара в крови у 27 человек из 47 обследованных по этому показателю оказалось ниже нормы, а в ряде случаев даже в зоне гипогликемии (78—80 мг%). Сахарная кривая характеризовалась быстрым подъемом на уровень, значительно выше обычного (рис. 79). Такой тип сахарной кривой специфичен для нарушений, связанных с повышенной возбудимостью эндокринных и вегетативных звеньев. В частности, подобная кривая отмечается при активизации функции щитовидной железы (А. Л. Мясников, 1949). При облучении же ультразвуком имеется заметная активизация функций щитовидной железы. На это указывают Н. А. Ефимов и В. С. Лукьянов (1963), Bugard (1958), Чжоу

Сяень-хуа (1957). При этом Bugard отмечает, что у кроликов, у которых под влиянием ультразвука щитовидная железа становится очень активной, имеется гипергликемия.

Помимо изменения содержания сахара в крови, в организме под влиянием ультразвука происходит сдвиг активности ряда ферментных систем, в белках крови и т. д. Эти изменения в основном связаны с эндокринны-

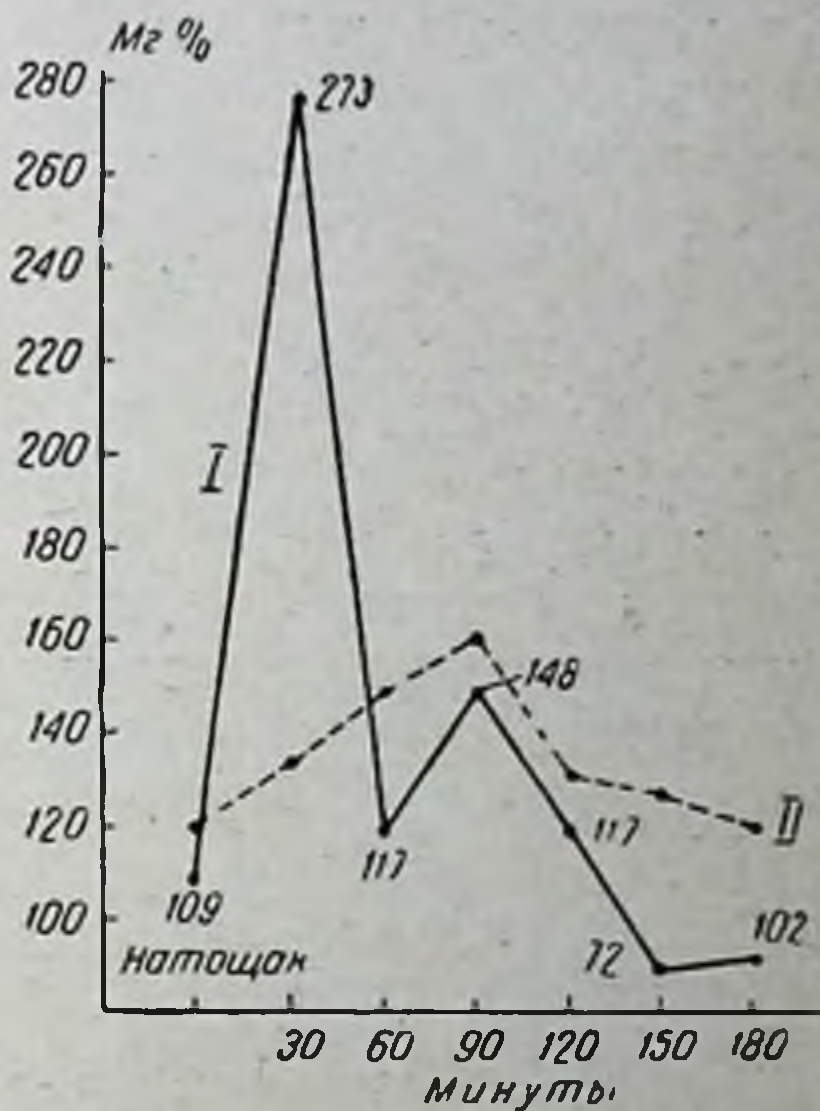


Рис. 79. Сахарная кривая.

I — у лиц, работающих с ультразвуком; II — в норме.

ми расстройствами. Эндокринная система оказалась чувствительной к ультразвуку. Bugard (1958) в эксперименте установил, что ультразвук промышленных параметров вызывает активизацию передней доли гипофиза, щитовидной железы, коры надпочечников. Н. Н. Шаталов, М. Н. Рыжкова, Л. А. Козлов, К. В. Глотова, В. М. Григорьева (1961) среди лиц, обслуживающих ультразвуковые силовые установки, часто обнаруживали случаи эндокринно-вегетативной дисфункции. Anthony и Аккегман (1955) установили стимуляцию адренокортикальной активности в опытах на мышах, подвергшихся действию обычного шума, причем длительное воздействие шума (более 12 недель) может привести к патологии. Даже относительно непродолжительное озвучивание в течение нескольких дней приводит к увеличению веса

надпочечников, связанному с расширением клубочковой зоны коры надпочечников. Н. А. Ефимов и В. С. Лукьянов обнаружили расстройства в половой сфере у работающих в условиях ультразвука. Нарушение функции эндокринных органов, по-видимому, обусловлено поражением центральных нервных аппаратов, в первую очередь гипоталамуса и гипофиза. Не случайно А. С. Мелькумова и В. А. Королева, Н. А. Ефимов, В. С. Лукьянов (1963) отметили, что у лиц с длительным стажем работы на ультразвуковых установках преобладают неврологические жалобы, которые объективно подтверждаются специальными исследованиями.

Как было показано в экспериментах, описанных в главах IV и VI, большое значение имеет продолжительность озвучивания. Поэтому не удивительно, что большие изменения и жалобы наблюдаются у рабочих с более длительным стажем работы. Высокие интенсивности ультразвука, порядка 110—120 дБ и более, при длительном систематическом озвучивании приводят к различным нарушениям в организме, характеризующимся астеническим, а в части случаев дизэнцефальным синдромом, полиневритом, гипотонией, эндокринными расстройствами, серьезными сдвигами в биохимических показателях. В ряде случаев нарушения достигают такой интенсивности, что общее состояние организма следует оценивать как предболезненное (А. С. Мелькумова, 1963).

Некоторые авторы склонны называть обнаруженные под влиянием ультразвука изменения в организме «ультразвуковой болезнью» (Faggis, 1948). Видимо, пока для такого определения нет достаточных оснований, однако имеющиеся данные, установленная возможность длительного действия ультразвука все же указывает на то, что при постоянном и длительном облучении может иметь место профессиональная патология. Особенно опасно обострение за счет ультразвука ранее имевшихся заболеваний, например гипотонии, ангионевроза, эндокринной неустойчивости, в частности после перенесения тиреотоксикоза и т. д. В связи с этим возникает необходимость проведения определенных защитных и профилактических мероприятий, которые должны осуществляться у работающих от вредного влияния ультра-

3. ЗАЩИТА ОТ УЛЬТРАЗВУКА НА ПРОИЗВОДСТВЕ

Защита от ультразвука и профилактические мероприятия по предупреждению его влияния на организм не представляют особой сложности. Защита может быть достигнута, как уже говорилось, в первую очередь увеличением расстояния между работающим и источником ультразвука, применением различного рода защитных экранов, плотной одеждой. Вероятно, защитными свойствами одежды можно объяснить, например, тот факт, что известны лишь единичные случаи тяжелого острого поражения ультразвуком. В качестве эффективной меры следует указать на защитные свойства помещений. Генераторы ультразвука, располагаемые в отдельном помещении, уже не будут представлять опасности для лиц, непосредственно с ними не работающих. Ввиду того что в настоящее время много ультразвуковой аппаратуры установлено в общих помещениях, большое значение приобретает звуковая изоляция этого оборудования. С этой целью могут применяться звукоизолирующие, звукопоглощающие и отражательные устройства. Звукоизоляция предусматривает укрытие всех элементов ультразвукового оборудования, которые являются источниками ультразвука и сопутствующего ему шума (т. е. ультразвукового преобразователя, стенок ванны, открытых поверхностей ванны и т. д.). Весьма целесообразным является применение звукоизолирующих кожухов, снабженных герметически закрывающейся крышкой. В настоящее время уже осуществляется серийный выпуск ряда ультразвуковых приборов в звукоизоляционном исполнении. Звукоизоляция считается эффективной, если она снижает уровень ультразвукового давления на 20—30 дб. Однако применение звукоизоляции очень затруднено в сварочных и сверлильных ультразвуковых машинах, так как это ведет к нарушению выполнения рабочими производственных операций. В этих случаях рекомендуется применять отражательные экраны из металла, органического стекла, винипласта и т. д. Как уже указывалось, нужно по возможности располагать ультразвуковое оборудование в изолированных помещениях. Особенно это касается ультразвуковых приборов, не имеющих звукоизолирующих и звукоотражательных экранов.

Учитывая, что слышимый шум и ультразвук имеют одну и ту же физическую природу, для профилактики действия ультразвука на организм может быть применен весь комплекс по борьбе с шумом, куда входят в первую очередь все перечисленные выше мероприятия, а также использование наружных противошумов конструкции НИТИ и НИАТ (Москва). Наиболее эффективными являются противошумы с индивидуальной подгонкой. Применение их снижает уровень высокочастотного шума, обычно сопровождающего ультразвук, не менее чем на 40 дБ.

Конструкция антифонов представляет собой жесткой формы сделанное из папье-маше по индивидуальному гипсовому слепку околоушной части головы основание каркаса антифона, на которое наложена звукоизоляция, состоящая из 4 слоев пластилина толщиной 2 мм каждый, чередующихся с 3 слоями фланели. Для фиксации антифонов на голове предусмотрена опора на голову, выполненная из легкой пластины, обклеенной губчатой резиной и фланелью.

Большое место в защите от ультразвука занимают правила по технике безопасности при работе с ультразвуковым оборудованием. Это особенно важно в случаях ограничения контактного облучения. В связи с тем что контактному облучению подвергаются главным образом руки рабочего при соприкосновении со средой, где возбуждаются ультразвуковые колебания, необходимо резко ограничить контакт рук с моющей жидкостью в ультразвуковых ваннах, с инструментом в момент прохождения по нему ультразвуковых колебаний. Если возможно, следует полностью исключить контактное облучение, учитывая его чрезвычайно высокую интенсивность. Для этого загрузку и выгрузку деталей и другие манипуляции следует, как правило, производить при выключении генератора ультразвука. При работе на станках и машинах детали должны быть закреплены с помощью специальных приспособлений. В тех случаях, когда генератор ультразвука выключать нельзя, должны применяться следующие мероприятия: при работе с ультразвуковыми ваннами детали необходимо погружать в ванну в сетках, снабженных ручками с эластичным покрытием, не связанных жестко с колеблющимися частями, при загрузке и выгрузке ручки сетки не должны соприкасаться с жид-

костью и бортами ванны, а при переворачивании деталей сетку необходимо извлекать из ванны.

При необходимости проведения кратковременных ручных операций с вибрирующим инструментом, деталям рекомендуется применять пинцеты, зажимы, щипцы с эластичным покрытием поверхностей. Руки рабочего необходимо защищать перчатками. Учитывая закон отражения ультразвука при переходе из одной среды в другую с разной плотностью, следует использовать две пары перчаток из разного материала: наружные — резиновые, а внутренние — хлопчатобумажные.

В связи с тем что вредное влияние ультразвука в настоящее время установлено со всей очевидностью, санитарными правилами предусматриваются лечебно-профилактические меры. В основу их положены мероприятия, предусмотренные приказом министра здравоохранения № 136 М в отношении влияния на организм высокочастотного шума. Вместе с тем учитывается и специфика действия на организм ультразвука. Эти мероприятия включают ускорение предоставления очередного отпуска при появлении первых признаков воздействия ультразвука, назначение симптоматического лечения. Очень важно предоставить даже кратковременный отдых, а затем применить медикаментозное лечение, используя тонизирующие средства: пантокрин, женьшень и т. д., а также водолечение, солено-хвойные ванны, циркулярный душ. Начальные симптомы заболевания в соответствии с указанным в табл. 24 требуют стационарного лечения. Больные с выраженной стадией заболевания нуждаются в стационарном и санаторном лечении, в динамическом наблюдении, в периодическом повторении курса лечения. Особое внимание следует уделять их трудоустройству, учитывая нарушения слуха и вестибулярной функции.

Лица, поступающие на постоянную работу в условиях воздействия ультразвука, должны подвергаться особому предварительному осмотру, а затем периодическим обследованиям. При проведении предварительного осмотра необходимо учитывать, что противопоказаниями к приему на работу могут быть хронические заболевания центральной нервной системы, невриты, полиневриты, нарушения функции щитовидной железы, неврозы, общие и сосудистые, перенесенные травмы черепа, лаби-

СЕМИОТИКА ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА
НА ОРГАНИЗМ РАБОТАЮЩИХ
С УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ УСТАНОВКАМИ

Предболезненное состояние	Начальные симптомы профессионального заболевания	Выраженная стадия заболевания
Периодическая головная боль, нейродинамические, нервнососудистые быстропроходящие нарушения	Стойкие нейродинамические, нервнососудистые нарушения. Значительная утомляемость, выраженная астенизация. Ряд дисцефальных симптомов. Умеренные нарушения со стороны слуха, зрения и других анализаторов. Функциональные сердечно-сосудистые расстройства. Начальные признаки обменных и эндокринных нарушений. Умеренно выраженные явления вегетативного полиневрита	Все перечисленные ранее симптомы приобретают более выраженный характер. Помимо них, появляется микроорганическая симптоматика и заметно снижается работоспособность

ринтопатия и хронические заболевания органа слуха, стойкое снижение слуха любой этиологии, гипотоническая и гипертоническая болезнь.

Периодические осмотры рекомендуется проводить один раз в год. В периодическом осмотре обязательно должны участвовать невропатологи, отоларингологи. Необходимо тщательно исследовать вестибулярный аппарат. Лица, у которых на ультразвуковом производстве отмечается прогрессирующее ухудшение общего состояния, нарушение ряда функций, подлежат переводу на работу, не связанную с действием ультразвука и высокочастотного шума.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выше были изложены данные литературы и собственные материалы о биологическом действии ультразвука. При этом более подробно были представлены сведения о действии на организм низкочастотного ультразвука, широко применяемого в промышленности. Отличительная особенность низкочастотного ультразвука заключается в его хорошем распространении через воздушную среду. В силу этого для него характерно общее диффузное воздействие, в то время как высокочастотный ультразвук действует в точке его приложения, локально.

Такая особенность распространения низкочастотного ультразвука выдвигает ряд вопросов о механизме его действия. Первичные особенности механизма биологического действия ультразвука всех частотных диапазонов, по-видимому, могут быть сведены в основном к тепловому, механическому и химическому действию.

В то же время такие вопросы, как роль в восприятии ультразвука органа слуха и всей поверхности тела или характер биологического действия ультразвука при общем либо локальном воздействии, по-видимому, могут быть отнесены только к ультразвуку, распространяющемуся через воздушную среду, т. е. к низкочастотному ультразвуку. По этим вопросам нет единого мнения. Ряд авторов, как было указано выше, стоит на той точке зрения, что если ультразвук не воспринимается органом

слуха, то он не может быть причиной выраженного биологического действия ввиду того, что неспецифическое действие ультразвука, т. е. действие, помимо органа слуха, имеет очень высокий порог.

Так, по данным В. М. Григорьевой, ультразвук частотой 35 кгц даже при интенсивности 130 дб не вызывал изменения кривой «силы-длительности» нервно-мышечного препарата.

Однако этот вопрос связан с другим — о границах адекватного восприятия звуков. Мы уже приводили эти данные в отношении человека, кролика и крысы. Верхняя воспринимаемая органом слуха частота составляет для них соответственно 16—20, 5—6 и 55 кгц.

Исследования мы проводили на кроликах и крысах, резко отличающихся по верхней границе адекватно воспринимаемых воздушных колебаний. Если учесть спектральный состав колебаний нашей сирены (см. рис.), то для кроликов в этом спектре слышимые колебания находятся только в самом начале его, причем на малом уровне интенсивности в 95—100 дб. Для крыс же все колебания спектра нашей сирены являются слышимыми, причем их максимальная интенсивность доходит до 140 дб. Следовательно, колебания, генерируемые нашей сиреной, должны по-разному воздействовать на кроликов и крыс, вызывать у них различные сдвиги, если на организм действуют только адекватно воспринимаемые части спектра колебаний сирены. При такой постановке вопроса приобретает большой интерес одновременное исследование воздействия колебаний сирены на кроликов и крыс, проведенное в нашей работе.

Если биологическое действие этих колебаний зависит только от их воздействия через орган слуха, то тогда характер сдвигов в организме кроликов и крыс должен резко отличаться. Если же наряду с воздействием через орган слуха будет иметь место и воздействие этих колебаний, помимо органа слуха, через всю поверхность тела, то тогда больших различий в сдвигах состояния кроликов и крыс при озвучивании наблюдаться не должно.

Приведенные нами данные говорят о правильности второго предположения.

Кратко их можно суммировать следующим образом.

1. При большой разнице в характере восприятия колебаний органом слуха крыс и кроликов пороговая

доза для начальных сдвигов состояния оказалась для обеих групп животных одинаковой, на уровне 95—100 дб, при частоте 54 кгц и продолжительности общего воздействия 1 час.

Уже этот результат сам по себе говорит о том, что в качестве причины биологического действия выступают не столько колебания, воспринимаемые органом слуха, сколько воспринимаемые, помимо органа слуха, всей поверхностью тела.

2. В пользу возможности восприятия ультразвука через кожу нами было приведено несколько доводов. К ним относится, во-первых, практика лечебного применения высокочастотного ультразвука. Как известно, ультразвуковой датчик при этом прикладывают непосредственно к той или иной части тела, и в любой из них могут возникать как местные сдвиги, так и общие. Во-вторых, нами было показано, что при общем воздействии ультразвука частотой 28 и 54 кгц проницаемость кожи к радиоактивному йоду (J^{131}) возрастает. Изменения в коже при воздействии высокочастотного ультразвука были обнаружены также другими авторами. Эти факты прямо говорят о непосредственном участии кожи в восприятии ультразвуковых колебаний.

3. Наконец, нами были приведены и решающие доказательства в пользу возможности воздействия ультразвука не через орган слуха, а через всю поверхность тела. Этих доказательств несколько. Первое из них заключается в том, что на кроликах и крысах ставились опыты с экранировкой головы, когда колебания сирены могли действовать только через поверхность тела. В этом случае были получены почти такие же сдвиги по всем изученным показателям, как и при диффузном воздействии. В этих опытах воздействие ультразвуковых колебаний через орган слуха было исключено, и тем не менее их биологическое действие проявлялось в полной мере. Такой же результат был получен и при озвучивании крыс и кроликов при условии защиты их ушей антифонами, которые, как известно, понижают силу колебаний, проникающих в орган слуха в тем большей степени, чем больше их частота. Если бы восприятие колебаний органом слуха играло решающую роль для возникновения признаков их биологического действия, то тогда озвучивание крыс и кроликов с применением антифонов

привело бы к уменьшению выраженности признаков биологического действия. Однако этого не произошло.

Нами были проведены опыты по снижению слуховой чувствительности у подопытных животных путем разрушения у них барабанных перепонки и слуховых косточек. Результаты озвучивания этих животных отличаются от озвучивания интактных кроликов и крыс только небольшим уменьшением первой фазы сдвигов. При этом вторая фаза сохраняется без перемен.

Таким образом, можно прийти к выводу, что действительно орган слуха не является критическим органом для восприятия ультразвука и что биологическое действие его может иметь место при воздействии ультразвука, помимо органа слуха, через всю поверхность тела.

4. Такой вывод имеет не только теоретическое, но и большое практическое значение для понимания характера действия ультразвука на лиц, обслуживающих ультразвуковые установки на производстве. Значение это заключается в том, что если ультразвук действует не через орган слуха, а через поверхность тела, то в условиях производства вредное действие ультразвука в значительной мере ослабляется личной и спецодеждой. Являясь защитным средством, одежда способствует тому, что ультразвук фактически действует на лиц, обслуживающих ультразвуковые установки, только через открытые части тела, в основном через лицо, шею и руки, т. е. локально. Как показывают наши опыты на животных, локальное воздействие ультразвука вызывает менее выраженный биологический эффект. Порог локального воздействия ультразвука повышается на 15—20 дБ по сравнению с порогом для диффузного озвучивания.

ЛИТЕРАТУРА

- Андреев А. А. Физиология органов чувств. М., 1941.
- Андреева-Галанина Е. Ц. Медицинский работник, 1960, 55, 2.
- Ашбель З. З. Гиг. тр. и профзабол., 1965, 9, 2, 29—33.
- Бару А. В. Усп. совр. биол., 1962, 54, 2(5), 174—192.
- Белая Н. А., Воздвиженская В. С., Зотова А. Т., Сперанский А. П. В кн.: Вопр. курортологии и физиотерапии. Медгиз. М., 1959.
- Бергман Л. Ультразвук и его применение в науке и технике. ИЛ, 1957.
- Берштейн С. А. Физиол. журн., 1963, 9, 3, 369—376
- Блэкстер, Браун, Вуд, Мак Дональд. Цит. по С. А. Нейфаху, 1959.
- Блинкин С. А., Гордина А. П., Полоцкий И. Г., Уразовский С. С. Журн. микробиол., эпидемиол. и иммунол., 1946, 5, 72.
- Борисов Ю. Я., Марков Л. О. Ультразвук в технике настоящего и будущего. М., 1960.
- Бурденко Н. Н. Цит. по Н. П. Крылову и В. И. Рокитянскому, 1958.
- Буров А. К., Андриевская Г. Д. ДАН СССР, 1956, 106, 445—448.
- Веллер В. А., Степанов Б. И. Акустич. журн., 1963, 9, 3, 291—295.
- Верещагина Е. Н. Некоторые экспериментальные материалы к действию на организм ультразвуковых колебаний. Ижевск, 1960.
- Воздвиженская В. С. В кн.: Автореф. докл. научн. сессии. Институт физиотер. М., 1957, стр. 25.
- Воскобойников В. К. Бюлл. эксперим. биол. и мед., 1960, 50, 12, 98—102.
- Геллер Э. Р. Мед. паразитол. и паразитарн. бол., 1961, 30, 2, 182—185, 251—252.

- Горбунов О. Н. Уч. зап. МНИИГ им. Ф. Ф. Эрисмана, 1963, 11, 91—96.
- Горев И. И., Гуревич М. И., Черкасский Л. П. 9-й съезд физиологов. Тез. докл., 1959, 1, 164.
- Горев И. И., Гуревич М. И., Черкасский Л. П. В кн.: Проблемы клинической неврологии и психиатрии. Киев, 1961, стр. 47—54.
- Горшков С. И., Вишневская С. С. Сообщение 1. Гиг. тр. и проф. забол., 1960, 4, 11, 18—24. Сообщение 2. В сб.: Вибрация и шум. Уч. зап. № 7, Моск. НИИ гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана, 1960, стр. 86—92.
- Горшков С. И., Горбунов О. Н. Материалы докладов Всесоюзной научной конференции, посвященной 90-летию Казанского ветеринарного института. Казань, 1963, стр. 483—484.
- Горшков С. И., Горбунов О. Н., Коновалов М. Н., Антропов Г. А., Левшина И. П., Никольская Р. М., Лакеева И. Ф. Материалы 4-й научной конференции по физиологии труда. Л., 1963.
- Горшков С. И., Ефимов Н. А., Лисичкина З. С., Мелькумова А. С., Темкин Я. С., Шпильберг П. О., Кубланова П. С., Лукьянов В. С., Юшкевич Л. Б., Генкин А. Г., Королева В. А., Жигулина Л. А., Склянская В. Б., Руженцова В. С., Дмитриева К. А. Материалы Республиканской итоговой научной конференции по гигиене. Л., 1963, стр. 48—50.
- Горшков С. И., Горбунов О. Н., Антропов Г. А., Лакеева И. Ф., Никольская Р. М. Материалы Республиканской итоговой научной конференции по гигиене. Л., 1963, стр. 49—50.
- Горшков С. И., Горбунов О. Н. «Медицинский работник» за 30/X 1962 г.
- Горшков С. И. Уч. зап. МНИИГ им. Ф. Ф. Эрисмана, 1963, 11, стр. 79—90.
- Григорьева В. М. Ультразв. техн., 1963, 2, 65—76.
- Григорьева В. М. Гиг. тр. и профзабол., 1960, 4, 10, 35—40.
- Гуревич Ф. А., Дронин А. И., Бархатова И. М. Изв. Сибирск. отд. АН СССР, 1960, 7, 83—90.
- Гуревич М. И., Черкасский Л. П. Патол. физиол. и эксперим. терапия, 1958, 2, 3, 40—43.
- Гуревич М. Д. В кн.: Тез. докл. 2-й Всесоюзной конференции по применению радиоэлектроники в биологии и медицине. М., 1962, стр. 35.
- Гуревич М. Д., Сवादковская Н. Ф., Собакки М. А. Сов. здравоохран., 1961, 8, 19—23.
- Гуревич М. И., Сиротина М. Ф. Физиол. журн., 1960, 5, 73—78.
- Гуревич М. И., Черкасский Л. П. В кн.: Материалы научной конференции по вопросам биофизики и механизму действия ионизирующей радиации. Киев, 1960, стр. 54—54.
- Гусева Л. А. Материалы по адаптации к холоду. Автореф. дисс. М., 1964.
- Дзидзигури Т. Д. В кн.: Материалы Закавказского съезда физиологов, биохимиков, фармакологов. Баку, 1962, стр. 133—133.
- Добросердов В. К. В кн.: Конференция молодых научных работников Института гиг. труда и профзаболев. АМН СССР. М., 1963, 54—55.

- Долцил-Диксон Э. Д. В кн.: Некоторые проблемы гигиены труда и профпатологии. М., 1960, стр. 483—513.
- Единые требования безопасности и санитарные правила эксплуатации промышленных ультразвуковых установок. М., 1965.
- Ермолаев В. Г. Вестн. оториноларинг., 1941, 1, 19—26.
- Ефимов Н. А., Лукьянов В. С. Уч. зап. МНИИГ им. Ф. Ф. Эрисмана, 1963, 11, 15—28.
- Ефимов Н. А., Лукьянов В. С. В кн.: Вопросы профпатологии. Уч. зап. Московск. НИИ гигиены им. Ф. Ф. Эрисмана. М., 1964, стр. 176—182.
- Закусов В. В. Фармакология нервной системы. М., 1957.
- Ильичевич Н. В., Вышатица А. И. В кн.: 2-я Всесоюзная конференция по применению радиоэлектроники в биологии и медицине. М., 1962, стр. 50—51.
- Киричинский Б. Р. В кн.: Материалы научной конференции по вопросам биофизики и механизму действия ионизирующей радиации. Клев, 1960, стр. 82—82.
- Кирчева С. С., Гачева И., Хаджиев Д. Вопр. курортол. физиотер. и лечебн. физкульт., 1960, 25, 5, 434—436.
- Коновалов М. Н., Эльпинер Л. И. Уч. зап. МНИИГ им. Ф. Ф. Эрисмана, 1959, 1, 71—74.
- Королева В. А. В кн.: Материалы 9-й Научно-практической конференции молодых гигиенистов и санитарных врачей МНИИГ им. Ф. Ф. Эрисмана. М., 1963, стр. 102.
- Королева В. А. Уч. зап. МНИИГ им. Ф. Ф. Эрисмана, 1963, 11, 39—40.
- Крестовников А. Н. Физиология человека. Изд. Физк. и спорт, 1954.
- Кривоглаз Б. А., Лысина Г. Г., Модель А. А. Тезисы докладов объединенной научной сессии по вопросам состояния сердечно-сосудистой системы в зависимости от условий труда. Харьков, 1960, 34—37.
- Крылов Н., Рокитянский В. Ультразвук и его лечебное применение. Медгиз. М., 1958.
- Лакеева И. Ф. В кн.: Материалы 9-й научно-практической конференции молодых гигиенистов и санитарных врачей МНИИГ им. Ф. Ф. Эрисмана. М., 1963, стр. 105.
- Лакеева И. Ф., Никольская Р. М. В кн.: Конференция молодых научных работников Института гиг. тр. и профзабол. АМН СССР. М., 1963, стр. 53—54.
- Левшин В. Л., Ржевкин С. Н. ДАН СССР, 1937, 16, 8, 407—411.
- Левшина И. П. В кн.: 8-я научная конференция молодых специалистов МНИИГ им. Ф. Ф. Эрисмана. М., 1961, стр. 79—80.
- Лисичкина З. С. Уч. зап. МНИИГ им. Эрисмана, 1960, 7, 93—100.
- Лисичкина З. С. В кн.: Научно-техническое совещание по технике безопасности и оздоровления условий труда. М., 1961, стр. 25—27.
- Лисичкина З. С. Уч. зап. МНИИГ им. Эрисмана, 1963, 11, 5—14.
- Лисичкина З. С. Гиг. и сан., 1961, 1, 23—33.
- Малкина В. М. В кн.: 2-я Всесоюзная конференция по применению радиоэлектроники в биологии и медицине. М., 1962, стр. 54.
- Мартинус Цит. по С. А. Нейфаху, 1959.
- Мелькумова А. С. В кн.: Материалы Республиканской итоговой научной конференции по гигиене. Л., 1963, стр. 101—102.

- Мелькумова А. С., Королева В. А. Уч. зап. МНИИГ им. Ф. Ф. Эрисмана, 1963, 11, 29—35.
- Методические указания для врачей санитарно-эпидемиологических станций и медсанчастей по профилактике вредного влияния ультразвука на работающих при применении его в промышленности. М. Минздрав. СССР, 1963.
- Натансон Г. Л. ДАН СССР, 1948, 59, 1, 83—85.
- Нейфах С. А. В кн.: IX съезд Всесоюзного общества физиологов, биохимиков и фармакологов. Т. 3. Изд. АН СССР. М.—Минск, 1959, стр. 193—195.
- Никольская Р. М. В кн.: Материалы 9-й научно-практической конференции молодых гигиенистов и санитарных врачей. МНИИГ им. Ф. Ф. Эрисмана. М., 1963, стр. 104.
- Никольская Р. М. В кн.: Материалы Республиканской конференции молодых гигиенистов и санитарных врачей МНИИГ им. Ф. Ф. Эрисмана. М., 1965.
- Онанов А. Н. Материалы о влиянии ультразвуковых волн на ткани животных. Грузмедгиз. Тбилиси, 1957.
- Пенек Н. В. Вопр. курорт., физиотерап. и лечеб. физкульт., 1962, 2, 135—139.
- Пенек Н. В. Врач. дело, 1959, 9, 932—942.
- Петросян Р. В. Уч. зап. МНИИГ им. Эрисмана, 1963, 11, 69—73.
- Полоцкий И. Г., Уразовский С. С. Врач. дело, 1946, 1—2, 85—90.
- Розенберг Л. Д. Применение ультразвука. М., 1957.
- Ройтбак А. И. Сообщ. АН Груз. ССР, 1952, 9, 540—553.
- Ройтбак А. И., Хечинашвили С. Н. Бюлл. эксперим. биол. и мед., 1952, 33, 3, 3, 8—12.
- Ройтбак А. И., Бекая Г. Л. В кн.: 3-я конференция по вопр. электрофизиологии нервной системы. Киев, 1960, 337.
- Руководящий материал по технике безопасности и промышленной санитарии в условиях применения ультразвука. М., Дом техники, 1962.
- Рыбаков А. М., Новиков Л. С. В кн.: Материалы по обмену передовым опытом и научными достижениями в медпромышленности. № 1—2 (13—14). М., 1956, стр. 79—121.
- Свадковская Н. Ф. Физиол. журн. СССР, 1960, 46, 8, 1016—1019.
- Свадковская Н. Ф. Нов. мед. техн., 1961, 4, 68—77.
- Северин С. Е. Материалы Международной конференции по мирному использованию атомной энергии. М., 1958, 12, 513—517.
- Сиротина М. Ф. Физиол. журн., 1961, 7, 2, 271—276.
- Сиротина М. Ф. В кн.: Материалы научной конференции по вопросам биофизики и механизма действия ионизирующей радиации. Киев, 1960, стр. 161—162.
- Скулачев В. П. В кн.: 9-й съезд физиологов, биохимиков, фармакологов. Т. 3. Изд. АН СССР. М.—Минск, 1959, стр. 196—201.
- Смайс, Файерхерст Цит. по С. А. Нейфаху, 1959.
- Смирнов М. К. Вопр. курорт., физиотер. и леч. физкульт., 1958, 6, 512—519.
- Сокольская А. В., Эльпинер И. Е. Акуст. журн., 1957, 3, 3, 293—294.
- Сперанский А. П., Марцвеладзе И. Л. Вопр. курорт., физиотер. и леч. физкульт., 1963, 1, 60—66.

- Стрелин Г. С. В кн.: Биологическое действие понижающего излучения, дозиметрии и применение радиоактивных веществ с лечебной целью. Доклады советской делегации на III Конгрессе электрорадиологов стран латинской культуры. Рим, 1954, Медгиз. М., 1954, стр. 17—32.
- Темкин Я. С. Глухота и тугоухость. М., 1957.
- Темкин Я. С., Кубланова Л. С. Уч. зап. МНИИГ им. Ф. Ф. Эрисмана, 1963, 11, 40—50.
- Ундриц В. Ф., Засосов Р. А. Сб. тр. Ленингр. института уха, носа и горла, 1935, 3, 97—109.
- Ухтомский А. А. Полное собрание сочинений. Т. 4. Л., 1954.
- Фарфель В. С. Физиология спорта. М., Физкультура и спорт, 1960.
- Френкель Я. И. Журн. физич. химии, 1940, 14, 3, 305—308.
- Фридман Л., Онанов А. Сб. тр. НИИ переливания крови Груз. ССР, 1957, 5, 275.
- Чжоу Сяень-хуа. Вопр. курортол., физиотер. и лечеб. физкульт., 1958, 6, 520—526.
- Чжоу Сяень-хуа. В кн.: Авторефераты докладов научной сессии Института физиотерапии. М., 1957, стр. 29—30.
- Шаталов Н. Н., Рыжкова М. Н., Козлов Л. А., Глотова Н. В., Григорьева В. М. Гиг. тр. и профзабол., 1961, 7, 28—33.
- Шеррингтон Ч. С., Крид Р. С., Денни-Браун Д., Икклс Д. С., Лиддел Э. Г. Рефлекторная деятельность спинного мозга. Пер. с англ. М.—Л., 1935.
- Шпильберг П. О. Уч. зап. МНИИГ им. Ф. Ф. Эрисмана, 1963, 11, 51—60.
- Шпильберг П. О., Лисичкина З. С. Уч. зап. МНИИГ им. Ф. Ф. Эрисмана, 1963, 11, 61—68.
- Эльпинер И. Е. Бюлл. exper. биол. и мед., 1950, 30, 3, 9, 208—211.
- Эльпинер И. Е. Журн. техн. физ., 1951, 21, 10, 1205—1212.
- Эльпинер И. Е. Акустич. журн., 1956, 2, 2, 217—222.
- Эльпинер И. Е. Ультразвук. Физико-химическое и биологическое действие. Физматгиз. М., 1963.
- Эльпинер И. Е., Герасимова А. В. ДАН СССР, 1952, 86, 4, 797—800.
- Эльпинер И. Е., Кац Ц. Б. ДАН СССР, 1952, 82, 4, 611—614.
- Эльпинер И. Е., Сокольская А. В. ДАН СССР, 1958, 119, 1180.
- Эльпинер И. Е., Кригер Ю. А., Добрина С. З. В кн.: 2-я Всесоюзная конференция по применению радиоэлектроники в медицине и биологии. М., 1962, стр. 53—53.
- Эльпинер И. Е., Сурова М. Д. ДАН СССР, 1953, 90, 6, 1088.
- Эристави К. Д., Онанов А. Н., Георгадзе Г. Е., Кигурадзе Е. Ш., Ахметели Л. И. Сб. трудов НИИ переливания крови Груз. ССР. Т. 4. Тбилиси, 1955, стр. 229—234.
- Юшкевич Л. Б., Склянская В. С. Уч. зап. МНИИГ им. Эрисмана, 1963, 11, 73—78.

Akiyama S. Tohoku J. exp. med., 1936, 30, 2, 192—195.

Allard H., Ots J. Congrès intern. de Biochimie à Paris Jillet, 1952.

- Allen C., Frings H. J. *Acoust. Soc. Am.*, 1954, 26, 1, 20—24.
- Angelusheff Z. D. *Acta oto-laryngologica*, 1956, 46, 5, 386—397.
- Anthony A. J. *Acoust. Soc. Am.*, 1955, 27, 6, 1150—1153.
- Anthony A., Ackerman E. J. *Acoust. Soc. Am.*, 1955, 27, 6, 1144—1149.
- Anstett P. *Der Ultraschall in der Medizin*. Zürich, 1949, 1, 288—290.
- Ariga K., Tsumuraya Y. *Nihon Univ. J. Med.*, 1959, 1, 4, 325—338.
- Badtke G. *Klin. Mbl. Augenheilk.*, 1949, 114, 2, 193—196.
- Baum G. *Am. J. Ophth.*, 1957, 44, 4, 2, 150—158.
- Beck Ch. *Arch. Ohren- und Kehlkopfheilkunde Nasen*, 1959, 174, 3, 173—181.
- Beckwith T. D., Olson A. R. *Proc. Soc. exp. Biol.*, 1931—32, 29, 362—364.
- Beier W., Dörner E. *Der Ultraschall in Biologie und Medizin*. Leipzig, 1954.
- Bejdl W. *Protoplasma*, 1950, 39, 2, 597.
- Best W. R., Samter M. *Blood. Journ. of Hematology*, 1951, 6, 1, 61—74.
- Bondy C., Söllner K. *Trans. Farad. Soc.*, 1935, 32, 556.
- Buchtala V. *Strahlentherapie*, 1948, 78, 1, 127—142.
- Bugard P. *La presse med.*, 1955, 63, 24, 493—494.
- Bugard P. *Arch. malad. profes.*, 1958, 19, 1, 21—28.
- Bugard P., Souvras H., Valade P., Coste E., Salle J. *La Sem. Hop. Paris*, 1953, 29, 65, 3299—3312; *C. R. Soc. biol.*, 1953, 147, 1785.
- Bull H. B., Söllner K. *Kolloid. Zs.*, 1932, 60, 3, 263—268.
- Bunse W., Müller R. *Arztl. Wschr.*, 1949, 4, 651.
- Cerny A., Liechti A., Wilbrandt W. *Strahlentherapie*, 1942, 72, 2, 202—210.
- Conte E., Delorenzi E. *Atti Congr. naz. Radiobiol.*, 1940, 4, 195.
- Corso J. F. *Arch. Environ. Health (Chicago)*, 1963, 6, 3, 350—356.
- Danner P. A., Ackerman E., Frings H. W. J. *Acoust. Soc. Am.*, 1954, 26, 5, 731—739.
- Derobert L. *Intoxications et maladies professionnelles*. Paris, 1954.
- Dognon A., Biancani E. *Ultrasons et biologie*. Paris, 1937.
- Dognon, Biancani. *Radiologica*, 1938, 3, 1—2, 40—54.
- Dönhardt A., Presch H. R. *Arch. physik. Ther.*, 1950, 2, 3, 168—172.
- Fabian G., Möbius M. *Z. Hyg.*, 1964, 10, 1, 27—43.
- Förster F., Holste A. *Naturwissenschaft*, 1937, 25, 1, 11—12.
- Freundlich H., Söllner K., Rogowski F. *Klin. Wschr.*, 1932, 11, 36, 1512—1513.
- Fry W., Tucker D. J. *Acoust. Soc. Am.*, 1951, 23, 5, 627—627.
- Fry W. J., Tucker D., Fry F. J., Wulff V. J. *Acoust. Soc. Am.*, 1951, 23, 364.
- Gloggengießer W. *Beitr. path. Anat.*, 1950, 111, 3, 457—479.
- Gloggengießer W. *Münch. med. Wschr.*, 1952, 94, 20, 1015—1022.

- Goldstein G., Stern K. G. J. Polymer. Sci., 1950, 5, 687.
- Gohr H., Falkenbach K. H., Kiel P. Arch. Physik. Ther., 1951, 3, 383—394.
- Griffing V. J. Chem. Phys., 1950, 18, 7, 997.
- Grognot P. Ann. Telecommunicat., 1951, 6, 341—344.
- Grognot P. J. Aviat. med., 1953, 24, 2, 73—76.
- Grognot P., Lehmann R. Nuovo Cimento, 1950, 7, Suppl. 2, 377.
- Grun P. u. and. Klin. Mbl. Augenheilk., 1953, 116, 357.
- Harvey E. N. Biol. Bull., 1930, 59, 2, 306—325.
- Harvey E. N. Am. J. Physiol., 1930, 91, 1, 284—290.
- Harvey E. N., Loomis A. L. Nature, 1928, 121, 3051, 622—624.
- Harvey E. N., Loomis A. L. J. gen. physiol., 1932, 15, 2, 147—153.
- Heinrich O. Zbl. Arbeitsmediz. u. Arbeitsschutz., 1959, 9, 2, 42—43.
- Helbig D. Mschr. Kinderheilk., 1950, 98, 8, 345—350.
- Henkel K. Strahlentherapie, 1948, 77, 2, 291—295.
- Hercik F., Hrdlicka M., Sprindrich J. Sborn. Lek (tschech.), 1942, 44, 15.
- Heyck H., Höpker W. Mschr. Psychiat. Neurol., 1952, 123, 1, 42—64.
- Hintzelmann U. Bäder- u. Klimaheilk., 1948, 1, 11/12, 161—167.
- Holland G., Schultes H. Z. ges. exp. Med., 1936, 98, 1—2, 207—209.
- Holtz P., Reichel W. S., Engelhardt A., Henke V., Schümann H. J. Arch. exp. Path. Pharmakol., 1952, 214, 4, 392—397.
- Horikawa M. Tohoku J. exp. Med., 1936, 28, 4—5, 357—375, 376—380.
- Horvath J. Ärztl. Forschung., 1947, 1, 20—21, 357—364.
- Hüter Th., Pohlman R. Zs angew. Phys., 1949, 1, 9, 405—411.
- Jung F. Klin. Wschr., 1942, 21, 42, 917—922.
- Joung R. R., Henneman E. Arch. Neurol., 1961, 4, 1, 83—89.
- Kanazawa S., Shinogawa H. Japan. J. Med. Sci. P. 3. Biophys., 1938, 5, 1, 159.
- Keidel W. D. Pflüg. Arch., 1950, 252, 1—2, 381—391.
- Klare V., Wyt L. Wien. klin. Wschr., 1951, 63, 4, 67—69.
- Kleefeld O. Klin. Mbl. Augenheilk., 1953, 123, 9, 743—746.
- Klupp H., Vyslonzil E., Watschinger B. Arch. phys. Ther., 1952, 4, 1, 44—49.
- Koelsch T. Handbuch der Berufskrankheiten. Berlin, 1959.
- Koeppe S. Der Ultraschall in der Medizin. Zürich, 1949, 1, 175—179.
- Laland S., Overend W., Stacey M. Research, 1950, 3, 8, 386—387.
- Langevin, Цит. по И. Г. Полоцкому и С. С. Уразовскому, 1946.
- Lehmann J. Der Ultraschall in der Medizin. Zürich, 1951, 3, 24—29.
- Lehmann J., Becker G., Jaenicke W. Strahlentherapie, 1950, 83, 2, 311—319.
- Leonhardt H. Med. Klin., 1949, 44, 36, 1162—1163.
- Ludwig G. D. J. Acoust. Soc. Am., 1950, 22, 6, 862.
- Lynn J. G., Zwemer R. L., Chick A. J. Science, 1942, 96, 2483, 119—120.

- Lynn J. G., Zwemer R. L., Chick A. J., Miller A. E. J. *Gen. Physiol.*, 1942, 26, 179—193.
- Lynn J. G., Putman T. J. *Amer. J. Path.*, 1944, 20, 3, 637—649.
- Majno G. *Arch. Sci.*, 1948, 1, 3, 532—535.
- Manners T. *Brit. Med. J.*, 1951, 1, Suppl. June 23, 1429—1430.
- Marinesco N. *Propriétés piézo-chimiques, physiques et biophysiques des ultra-sons. II.* Paris, 1937.
- Meyers R., Fry F. J., Fry W. J., Eggleton R. C., Schultz D. F. *Neurology*, 1960, 10, 3, 271—277.
- Miller F. E., Weaver J. B. *Physic. Ther., Rev.*, 1954, 34, 11, 562—566.
- Müller H. K., Hobstege K. H., Kleifeld O. *Dtsch. Opht.*, 1949, 86—92.
- Naumann H. *Arch. Ohren-Nase- und Keilkopfheilkunde*, 1951, 160, 3, 240—292.
- Nödl F. *Arch. Derm.*, 1949, 189, 359—368.
- Owada K. *Tohoku J. exp. Med.*, 1936, 30, 2, 186—191.
- Pätzold J., Güttner W., Bastir R. *Strahlentherapie*, 1952, 86, 2, 298—305.
- Peters G. *Der Ultraschall in der Medizin.* Zürich, 1949, 1, 166.
- Peters G. *Der Ultraschall in der Medizin.* Zürich, 1952, 4, 60—62.
- Pfirsich R. *Bull. Soc. franc. physiol. veget.*, 1959, 5, 3, 151—152.
- Pohlman R. *Phys. Zs.*, 1939, 40, 5, 159—161.
- Pohlman R. *Die Ultraschalltherapie. Praktische Anwendung des Ultraschalls in der Medizin.* Bern, 1951.
- Pohlman R., Parow-Souchon E., Schlungbaum H. *Klin. Wschr.*, 1948, 26, 17/18, 277—278.
- Portmann G., Portmann M., Barbe L. J. *Acta otolaryngol.*, 1951, Suppl. 100, 119—133.
- Prudhomme R. O., Grabar P. J. *chim. phys.*, 1949, 46, 5—6, 149—149.
- Richards W. T. *J. Am. Chem. Soc.*, 1929, 51, 6, 1724.
- Schikorski K. *Strahlentherapie*, 1952, 87, 4, 556—566.
- Schliephake E. *Med. Welt*, 1940, 14, 33, 846—849.
- Schmid G. *Phys. Zs.*, 1940, 41, 13, 325—327.
- Schmitt F. O., Uhlemeyer B. *Proc. Soc. exp. Biol.*, 1930, 27, 7, 626—628.
- Schmitz W. *Strahlentherapie*, 1949, 79, 4, 499—512.
- Schmitz W., Hoffmann D. *Acta Neuroveget.*, 1952, 4, 1, 99—114.
- Scholtz H. G. *Dtschr. med. Wschr.*, 1942, 68, 36, 888—890.
- Schwab F. u. *Nuovo Cimento*, 1950, 7, Suppl. 2, 519.
- Schwan H. P. *Proc. JRE*, 1959, 47, 11, 1959—1962.
- Sibuja H. *Tohoku J. Exp. Med.*, 1936, 30, 181—185.
- Solner K. *Farad. Soc.*, 1936, 32, n. 532, 1537—1538.
- Specht W., Rühlicke K., Haggemiller S. *Der Ultraschall in der Medizin.* Berlin, 1951.
- Stockebrand A. Z. *Acker- u. Pflanzenbau*, 1952, 95, 4, 401—422.
- Stuhlfauth K. *Dtsch. med. Wschr.*, 1951, 76, 16, 537—538.
- Stuhlfauth K., Wuttge K.-H. *Klin. Wschr.*, 1950, 28, 3/4, 71—74.
- Takashi Okumura. *Med. J. Osaka Univ.*, 1960, 11, 1—2, 173—181.
- Takashi Okumura. *Med. J. Osaka Univ.*, 1960, 11, 1—2, 183—189.

- Takahashi W. W., Christensen R. J. Science, 1934, 79, 2059.
415—416.
- Tillich A. Strahlentherapie, 1952, 87, 4, 528—543.
- Truge S. Tohoku J. Exp. Med., 1938, 33, 8—17.
- Veltmann G., Woeber K. Strahlentherapie, 1949, 79, 4, 587—
598.
- Veltmann G., Woeber K. H. Der Ultraschall in der Medizin. Zü-
rich, 1949, 1, 233—237.
- Wall P. D., Fry W. J., Stephens R., Tucker D., Let-
twin J. Y. Science, 1951, 114, 2974, 686—687.
- Wiercinski F. J., Child C. M. Science, 1936, 83, 2164, 604—
605.
- William R. u. and. Blood, 1951, 6, 61.
- Winter Th. Z. Haut- u. Geschlechts Krankheiten, 1948, 4, 11—12,
432—435.
- Wöbbecke H. Strahlentherapie, 1950, 82, 4, 615—630.
- Wolf F. Bestimmung der Letalitätsdosen mit Ultraschallwellen bei
verschiedenen Organismen. Diss. Erlangen, 1947.
- Zeilhofer R. Letalitätsdosen und biologische Wirkung des Ultra-
schalls in Abhängigkeit von der Frequenz. Diss. Erlangen,
1951.
- Zeiss E. Graefes. Arch. Opht, 1938, 138.

О Г Л А В Л Е Н И Е

ВВЕДЕНИЕ	3
<i>Глава I. УЛЬТРАЗВУК КАК ФАКТОР ВНЕШНЕЙ СРЕДЫ ЧЕЛОВЕКА</i>	7
1. Распространенность ультразвука	7
2. Физические свойства ультразвука	9
3. Физическое и физико-химическое действие ультразвука	14
4. Поглощение ультразвука тканями животного организма и превращение энергии ультразвука в организме	19
5. Некоторые проявления биологического действия ультразвука	25
<i>Глава II. МЕТОДИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПРОВЕДЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИЗУЧЕНИИ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ</i>	41
1. Ультразвуки низкой и высокой частоты	41
2. Источник ультразвука и методика озвучивания	43
3. Измерение и дозиметрия ультразвука	48
<i>Глава III. БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ УЛЬТРАЗВУКА НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ</i>	54
1. Действие ультразвука на функции нервной системы	55
2. Влияние ультразвука на функциональное состояние щитовидной железы	76
3. Действие ультразвука на морфологический состав периферической крови	82
4. Влияние ультразвука на терморегуляционные процессы	88
5. Влияние ультразвука на биохимические показатели	90
<i>Глава IV. ЗАВИСИМОСТЬ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА ОТ ЕГО СИЛЫ И ЧАСТОТЫ</i>	98
1. Пороговая доза ультразвука в эксперименте	98

2. Некоторые особенности действия ультразвука надпороговой интенсивности	103
3. Аддитивность биологического действия ультразвука	108
<i>Глава V. К ВОПРОСУ О МЕХАНИЗМЕ БИОЛОГИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА НИЗКОЙ ЧАСТОТЫ</i>	<i>110</i>
1. О путях воздействия ультразвука на животный организм	111
2. Неравноценность общего и местного воздействия ультразвука	125
3. Зависимость биологического действия ультразвука от исходного состояния организма	129
<i>Глава VI. ДОПУСТИМАЯ ДОЗА ВОЗДЕЙСТВИЯ УЛЬТРАЗВУКА И НЕКОТОРЫЕ СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ЕГО ВРЕДНОГО ДЕЙСТВИЯ В ЭКСПЕРИМЕНТЕ НА ЖИВОТНЫХ</i>	<i>141</i>
<i>Глава VII. ВЛИЯНИЕ УЛЬТРАЗВУКА НА ОРГАНИЗМ РАБОТАЮЩИХ В ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ УСЛОВИЯХ</i>	<i>154</i>
1. Ультразвук на производстве	154
2. Изменения в организме работающих с ультразвуком	161
3. Защита от ультразвука на производстве	179
ЗАКЛЮЧЕНИЕ	183
Литература	187

ГОРШКОВ СЕРГЕЙ ИЛЬИЧ
АНТРОПОВ ГЕННАДИЙ АНДРЕЕВИЧ
ГОРБУНОВ ОЛЕГ НИКОЛАЕВИЧ

БИОЛОГИЧЕСКОЕ ДЕЙСТВИЕ
УЛЬТРАЗВУКА

Редакторы *В. П. Годин*

С. П. Ландау-Тылкина

Техн. редактор *Н. К. Петрова*

Корректор *В. Н. Самсонова*

Художественный редактор

Т. В. Стихно

Переплет художника

Л. С. Эрмана

Сдано в набор 23/VI 1965 г. Подпи-
сано к печати 19/X 1965 г. Формат
бумаги $84 \times 108^{1/32} = 6,25$ печ. л.
(условных 10,25 л.) 10,16 уч.-изд. л.
Тираж 3000 экз. МН-71

Издательство «Медицина». Москва, Петроверигский пер., 6/8
Заказ 284. 11-я типография Главполиграфпрома Государствен-
ного комитета Совета Министров СССР по печати. Москва,
Нагатинское шоссе, д. 1.

Цена 71 коп.

ГОТОВЯТСЯ К ИЗДАНИЮ

В 1966 г.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МЕДИЦИНА» НАМЕТИЛО К ВЫПУСКУ В 1966 г. БОЛЕЕ 500 КНИГ ПО РАЗЛИЧНЫМ ВОПРОСАМ МЕДИЦИНЫ И ЗДРАВООХРАНЕНИЯ. СРЕДИ НИХ ВЫ НАПДЕТЕ СЛЕДУЮЩИЕ КНИГИ ПО ТЕОРЕТИЧЕСКИМ ВОПРОСАМ МЕДИЦИНЫ

АРШАВСКИЙ И. А. Очерки по возрастной физиологии. 20 л., ц. 1 р. 50 к., III кв. 1966 г. (Тем. план 1966 г. № 47)

БЕРИТАШВИЛИ И. С., действ. чл. АМН СССР, проф. Общая физиология мышечной и нервной системы (спинной мозг и ствол головного мозга). Изд. 3-е, перераб., 35 л., ц. 2 р. 40 к., I кв. 1966 г. (Тем. план 1966 г., № 48)

Ведущие проблемы возрастной физиологии и биохимии. Под ред. чл.-корр. АН УССР проф. В. Н. НИКИТИНА. 28 л., ц. 2 руб., I кв. 1966 г. (Тем. план 1966 г., № 49)

ДАВЫДОВСКИЙ И. В., действ. чл. АМН СССР, проф. Геронтология. 23 л., ц. 1 руб. 65 к., IV кв. 1966 г. (Тем. план 1966 г., № 52)

Исследования высшей нервной деятельности человека применительно к задачам психоневрологической клиники. Под ред. проф. В. К. ФАДЕЕВОЙ. 18 л., ц. 1 р. 35 к. IV кв. 1966 г. (Тем. план 1965 г., № 53)

МАРКОСЯН А. А., проф. Физиология свертывания крови. 25 л., ц. 1 р. 80 к., I кв. 1966 г. (Тем. план 1966 г., № 57)

Молекулярные основы патологии. Под ред. действ. чл. АМН СССР, проф. В. Н. ОРЕХОВИЧА. 32 л., ц. 2 р. 20 к., I кв. 1966 г. (Тем. план 1966 г., № 59)

Нуклеиновые кислоты. Под ред. действ. чл. АМН СССР проф. В. Н. ОРЕХОВИЧА и проф. В. С. ТОНГУРА. Труды 2-й конференции по нуклеиновым кислотам, январь 1965 г. 28 л., ц. 2 руб., IV кв. 1966 г. (Тем. план 1966 г., № 60)

Очерки по физиологии и патологии человека в условиях высокогорья. КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ. 13 л., ц. 1 руб., III кв. 1966 г. (Тем. план 1966 г., № 64)

ПАРИН В. В., действ. чл. АМН СССР, проф., БАЕВСКИЙ Р. М. Основы медицинской кибернетики. Изд. 2-е, 15 л., ц. 1 р. 10 к. III кв. 1966 г. (Тем. план 1966 г., № 65)

Проблемы динамической локализации функций. Редакция (посвящается 70-летию со дня рождения действ. чл. АМН СССР проф. С. А. Саркисова). 20 л., ц. 1 р. 50 к., IV кв. 1966 г. (Тем. план 1966 г., № 69)

Проблемы физиологии и патологии высшей нервной деятельности. Под ред. действ. чл. АМН СССР проф. Д. А. БИРЮКОВА. Вып. III, 12 л., ц. 90 коп., II кв. 1966 г. (Тем. план 1966 г., № 70)

Физиологические методы в клинической практике. Изд. 2-е, перераб. и дополн. Под ред. действ. чл. АМН СССР проф. Д. А. БИРЮКОВА. 40 л., ц. 2 р. 70 коп., IV кв. 1966 г. (Тем. план 1966 г., № 82)

Философские и социальные проблемы медицины. Под ред. канд. философ. наук Г. И. ЦАРЕГОРОДЦЕВА. 25 л., ц. 1 р. 80 к., I кв. 1966 г. (Тем. план 1966 г., № 83)

ХАНСМАН Е. Б. Аортальные барорецепторы. 12 л., ц. 90 коп., I кв. 1966 г. (Тем. план 1966 г., № 84)

ШАПОВАЛОВ А. И. Клеточные механизмы синаптической передачи. 20 л., ц. 1 р. 50 к., I кв. 1966 г. (Тем. план 1966 г., № 87)

Книги по медицине можно купить в любом книжном магазине, распространяющем медицинскую литературу.

ИЗДАТЕЛЬСТВО «МЕДИЦИНА»

