

УДК 612.014.4:534

М. Я. ХОДАС, С. А. БФИМОВА, О. Л. КУЗНЕЦОВ, В. Э. ЛЕМБЕРГ, Э. М. СИМКИН

УВЕЛИЧЕНИЕ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ ТКАНЕЙ ЧЕЛОВЕКА
И ЖИВОТНОГО В АКУСТИЧЕСКОМ ПОЛЕ

В статье экспериментально показана возможность многократного увеличения теплопроводности печеночной и мышечной тканей *in vitro* и мышечной ткани *in vivo* в мощном акустическом поле. Эксперименты *in vivo* проводились на собаках. Указано на возможные области применения эффекта увеличения теплопроводности в акустическом поле: в анестезиологии, реаниматологии и хирургии для быстрого охлаждения и согревания органов и тканей, в онкологии для создания локальной гипертермии с целью разрушения опухолевых клеток.

Авторами ранее экспериментально обнаружено явление многократного увеличения теплопроводности насыщенных капиллярно-пористых и коллоидных сред [1, 2] в мощном акустическом поле. Последнее обстоятельство послужило отправным моментом для проверки аналогичного эффекта в живых тканях.

Экспериментальные исследования проводились *in vitro* и *in vivo*. Для экспериментов *in vitro* использовалась тщательно теплоизолированная мышечная или печеночная ткань трупа. Эксперименты *in vivo* проводились на собаках. Было проведено 11 экспериментов *in vivo* и 27 экспериментов *in vitro*.

Экспериментальная установка (рис. 1) состояла из объекта исследования (1), электронагревателя (2), совмещенного с акустическим излучателем (3), автоматического самопишущего потенциометра (10) с термопарой (9), регулятора температуры нагрева, лабораторного автотрансформатора (5), генератора (5), генератора акустического излучения типа УЗГ-3-04 (6), осциллографа (7) и датчиков для измерения акустического сигнала (8). Источниками и датчиками акустического сигнала служили изолированные тонким резиновым покрытием электроакустические пьезокерамические преобразователи из цирконата титана свинца (ЦТС). Генератор акустического сигнала создавал переменное выходное напряжение до 300 вольт частотой от 17 до 45 кгц. Максимальная выходная мощность генератора составляла 400 ватт. В цикле экспериментов интенсивность акустического облучения изменяли от 0,1 до 0,25 Вт/см². Размер интенсивности акустического излучения производился гидрофоном в ванне с водой на расстоянии 0,5—1,0 см от стенки источника. Частота акустического излучения составляла 17—45 кгц и замерялась по показаниям осциллографа, соединенного с датчиками акустического сигнала типа ЦТС.

Измерение температуры в тканях производилось точечными термопарами (9), подсоединенными к потенциометру (10) в точках, расположенных на расстояниях 1, 2, 3, 5, 10 см от поверхности электрода. В процессе эксперимента производилась непрерывная запись температуры в указанных точках.

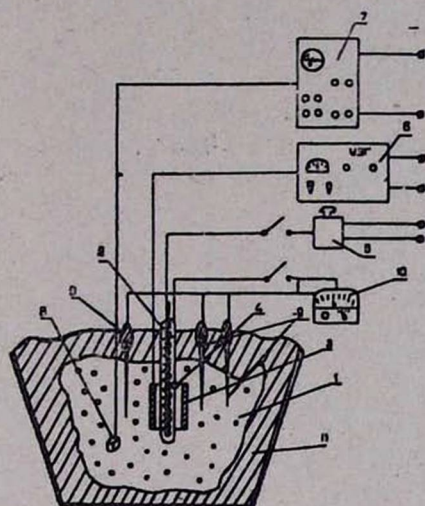


Рис. 1. Схема установки для экспериментальных исследований термоакустического поля в тканях человека (in vitro). 1—ткань; 2—нагреватель; 3—акустический источник; 4—стеклянная трубка нагревателя; 5—лабораторный автотрансформатор; 6—ультразвуковой генератор; 7—осциллограф типа С1-19; 8—акустический датчик; 9—термопары; 10—потенциометр; 11—теплоизоляционное покрытие.

Наркоз осуществляли внутривенным введением раствора барбитурата. На гладко выбритую поверхность бедра накладывали плоский электрод, совмещающий акустический излучатель типа ЦТС и электрический нагреватель. Электрод имел изоляционное резиновое покрытие. Для обеспечения хорошего акустического контакта излучателя с поверхностью электрод смазывали глицерином.

Методика проведения экспериментов заключалась в том, что нагрев ткани до температуры 45°C производили одновременно с акустическим облучением объекта. При этом регистрировалось изменение температуры в указанных точках.

В контрольных опытах проводилось измерение температуры тканей в тех же точках при идентичном нагреве без акустического облучения. Продолжительность эксперимента составляла 60 минут.

С целью проверки возможного влияния акустического поля на показания термопар и степень преобразования акустических колебаний в тепло было проведено 9 предварительных экспериментов. Исследуемые объекты подвергались акустическому облучению без нагрева в течение 3 часов. Отклонение температуры составляло $1-2^{\circ}\text{C}$. В связи с этим сделан вывод, что диссипация акустической энергии в тепловую в тканях in vitro и in vivo пренебрежимо мала.

Гистологический анализ кусочков ткани показал, что в проведенных экспериментах акустическое поле не вызывает каких-либо изменений в структуре тканей.

Результаты экспериментальных исследований, приведенные в таблице, обрабатывались согласно распределению Стьюдента с доверительной вероятностью 0,95. Приведенные в таблице значения теплопроводностей в акустическом поле определены с точностью до величины $\pm E$. Для случая *in vivo* $E=0,00008$ ккал/см сек °С при дисперсии $D=1,3 \cdot 10^{-8}$. Для печеночной ткани *in vitro* $E=0,00004$ ккал/см сек °С при дисперсии $D=0,8 \cdot 10^{-8}$ и $E=0,002$ ккал/см сек °С при дисперсии $D=8,6 \cdot 10^{-6}$ для мышечной ткани *in vitro*.

Таблица

Изменение теплопроводности тканей в акустическом поле

Объект исследования	Теплопроводность ккал/см сек °С	Наибольший прирост температуры при нагреве в акустическом поле в градусах	Относительно возрастание теплопроводности в акустическом поле
Мышечная ткань собаки (<i>in vivo</i>)	0,00012	14	10
Мышечная ткань (<i>in vitro</i>)	0,00140	16	20
Печеночная ткань (<i>in vitro</i>)	0,00010	9	3

Как видно из таблицы, теплопроводность в мышечной и печеночной тканях *in vitro* возрастает в 3÷20 раз, *in vivo* в 10 раз. Обнаруженное различие может быть объяснено наличием естественного механизма терморегуляции живой ткани.

Приведенные на рисунках 2, 3 зависимости получены при интенсивности акустического поля 0,25 Вт/см², частоте 45 кГц и постоянной температуре на нагревателе. Полученные данные обрабатывались по методу наименьших квадратов.

При сочетании нагрева тканей с акустическим облучением их температура существенно возрастает (кривые 1, 3, 5. рис. 2). Кроме того, глубина прогрева тканей в акустическом поле в несколько раз больше, чем при нагреве без акустического облучения (рис. 3, кривая 1). В частности, приведенные экспериментальные результаты прогрева точек тела, расположенных на глубине 5 см, до 45°C за 45 минут термоакустическим способом показывают, что для этого на поверхности тела необходимо создать температуру, равную 50°C. Как показывают расчеты, аналогичный температурный эффект без акустического облучения может быть достигнут только при нагреве поверхности тела до температуры 107°C. Повышение интенсивности акустического воздействия приводит к большему увеличению теплопроводности тканей. Приведенные результаты свидетельствуют о многократном увеличении теплопроводности мышечной и печеночной тканей *in vitro* и мышечной ткани *in vivo*.

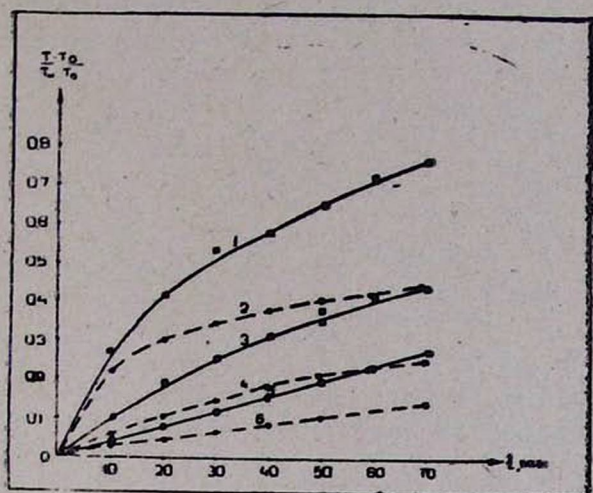


Рис. 2. Изменение безразмерной температуры мышечной ткани собаки (in vivo) от времени: кривые 1, 3, 5—при нагреве с акустическим облучением; кривые 2, 4, 6—при идентичном нагреве без акустического облучения; кривые 1—2, 3—4, 5—6—соответственно показания на расстояниях 1, 3 и 5 см от источника тепла и звука. T_m —температура на нагревателе; T_0 —начальная температура ткани.

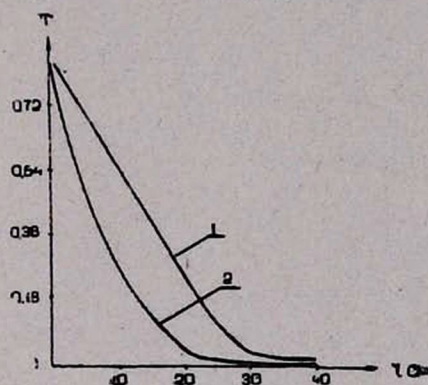


Рис. 3. Изменение распределения безразмерной температуры в мышечной ткани человека in vitro в зависимости от удаления от источника: кривая 1—при нагреве с акустическим облучением; кривая 2—при идентичном нагреве без акустического облучения.

Механизм наблюдаемого эффекта, по-видимому, заключается в формировании акустическим полем диффузионно-фильтрационных движений межклеточной и межтканевой жидкости, приводящих к увеличению теплового потока через мембраны клеток.

В результате укажем на возможные области применения обнаруженного нами явления: в анестезиологии, реаниматологии и хирургии для быстрого охлаждения органов и тканей (мозг, сердце, печень, матка, мышца и т. д.) с целью уменьшения потребностей тканей в кислоро-

де, для борьбы с гипоксией и снижения объема кровопотери; для быстрого согревания до нормальной температуры, а также в онкологии для достижения гипертермии в тех или иных органах с целью повреждения опухолевых клеток.

ВНИИ клинической и экспериментальной хирургии
МЗ СССР и ВНИИ ядерной геофизики и
геохимии Министерства геологии СССР

Поступила 18/VI 1977 г

Մ. Յա. Խոդաս, Ս. Ա. Եփիմովա, Օ. Լ. Կուզնեցով,

Վ. Է. Լեւոնով, Է. Մ. Սիմկին

**ՄԱՐԴՈՒ ԵՎ ԿԵՆԴԱՆՈՒ ՀՅՈՒՍՎԱԾՔՆԵՐԻ ՋԵՐՄԱՀԱՂՈՐ-
ԴԱԿԱՆՈՒԹՅԱՆ ՄԵԾԱՅՈՒՄԸ ԱԿՈՒՍՏԻԿ ԴԱՇՏՈՒՄ**

Ա մ փ ո փ ո լ մ

Հեղինակները փորձառապես ցույց են տվել լիրդային և մկանային հյուսվածքների in vitro և մկանային հյուսվածքի in vivo ջերմահաղորդականության բազմակի մեծացման հնարավորությունը հզոր ակուստիկ դաշտում: in vivo էքսպերիմենտները կատարվել են շների վրա: Ցույց են տրված ակուստիկ դաշտում ջերմահաղորդականության մեծացման էֆեկտիվ օգտագործման հնարավոր բնագավառները անհետեղողութայում, ռեանիմատոլոգիայում և վիրաբուժության մեջ օրգանների ու հյուսվածքների արագ սառեցման ու տաքացման համար և ուռուցքային բջիջների քայքայման նպատակով տեղական հիպերթերմայի առաջացման համար:

Л И Т Е Р А Т У Р А

1. Карус Е. В., Сургучев М. Л., Кузнецов О. Л., Симкин Э. М., Ефимова С. А. ДАН СССР, сер. геофизика, т. 218, вып. 6, 1974.
2. Сургучев М. Л., Кузнецов О. Л., Симкин Э. М. Гидродинамическое, акустическое, тепловое циклические воздействия на нефтяные пласты. М., 1975.