

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ  
им. М.В. ЛОМОНОСОВА



XXIII МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
ПО ФУНДАМЕНТАЛЬНЫМ НАУКАМ

МЕЖДУНАРОДНЫЙ МОЛОДЕЖНЫЙ НАУЧНЫЙ ФОРУМ

**“ЛОМОНОСОВ-2016”**

СЕКЦИЯ  
**“ФИЗИКА”**

Сборник тезисов докладов  
**Том 1**

ФИЗИЧЕСКИЙ ФАКУЛЬТЕТ МГУ  
2016

**XXIII Международная конференция студентов, аспирантов и молодых ученых по фундаментальным наукам «Ломоносов—2016». Секция «Физика». Сборник тезисов.** — М. Физический факультет МГУ, 2016. 264 с.

ISBN 978-5-8279-0127-3

**Оргкомитет секции:**

Сысоев Н.Н. — декан физического факультета (председатель);  
Федянин А.А. — заместитель декана (зам. председателя);  
Федосеев А.И. — заместитель декана (зам. председателя);  
Гапочка М.Г. — заместитель декана (зам. председателя);  
Корнеева Ю.В. — председатель СМУ физического факультета  
Лебедев А.С. — председатель профкома студентов физического факультета  
Паршинцев А.А. — ответственный секретарь.

**Экспертный совет секции:**

Сысоев Н.Н. — профессор, декан физического факультета (председатель).

Андреев В.Г. — доцент;  
Бушуев В.А. — профессор;  
Гордиенко В.М. — профессор;  
Доленко Т.А. — ст. науч. сотрудник;  
Жуковский В.Ч. — профессор;  
Засов А.В. — профессор;  
Зубов В.Е. — профессор;  
Казанский А.Г. — профессор;  
Короленко П.В. — профессор;  
Кульбачинский В.А. — профессор;  
Максимочкин В.И. — профессор;  
Митрофанов В.П. — профессор;  
Наний О.Е. — профессор;  
Орешко А.П. — доцент;  
Ормонт М.А. — доцент;

Пирогов Ю.А. — профессор;  
Плохотников К.Э. — ст. науч. сотрудник;  
Потанин С.А. — доцент;  
Савельев-Трофимов А.Б. — профессор;  
Степанов М.Е. — доцент  
Твердислов В.А. — профессор;  
Тимошенко В.Ю. — профессор;  
Уваров А.В. — профессор;  
Форш П.А. — доцент;  
Хомутов Г.Б. — профессор;  
Хохлова В.А. — профессор;  
Чуличков А.И. — профессор;  
Шалыгина Е.Е. — профессор;  
Широков Е.В. — доцент;  
Ягола А.Г. — профессор.

Подписано в печать 25.03.2016.  
Объем 22,5 п.л. Тираж 120 экз.  
Заказ №

Физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова  
119991 ГСП-1. г. Москва, Ленинские горы, д. 1, стр. 2.  
Отпечатано в отделе оперативной печати физического факультета.

ISBN 978-5-8279-0127-3

© Физический факультет МГУ, 2016

Совместная активация тромбоцита тромбином и АДФ приводит к заметному увеличению доли сверхактивированных тромбоцитов (более чем в два раза). При этом продолжительность колебаний концентрации кальция не меняется. Полученные результаты хорошо описывают известные экспериментальные данные, что говорит о достоверности построенной модели. Взаимодействие сигнальных путей происходит на уровне пула Gq-белков и за счет регуляции активности фосфолипазы C с АМР.

### Литература

1. Sveshnikova, A., Ataulakhanov, F. and Pantelev, M. (2015). Compartmentalized calcium signaling triggers subpopulation formation upon platelet activation through PAR1. *Mol. Bio-Syst.*, 11(4), pp. 1052–1060.
2. Shakhidzhanov, S., Shaturny, V., Pantelev, M. and Sveshnikova, A. (2015). Modulation and pre-amplification of PAR1 signaling by ADP acting via the P2Y12 receptor during platelet subpopulation formation. *Biochimica et Biophysica Acta (BBA) – General Subjects*, 1850(12), pp. 2518–2529.

## МОРФОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ РАЗРУШЕНИЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ТКАНИ ПРИ ОБЛУЧЕНИИ МОЩНЫМИ ФОКУСИРОВАННЫМИ УЛЬТРАЗВУКОВЫМИ ИМПУЛЬСАМИ С УДАРНЫМИ ФРОНТАМИ

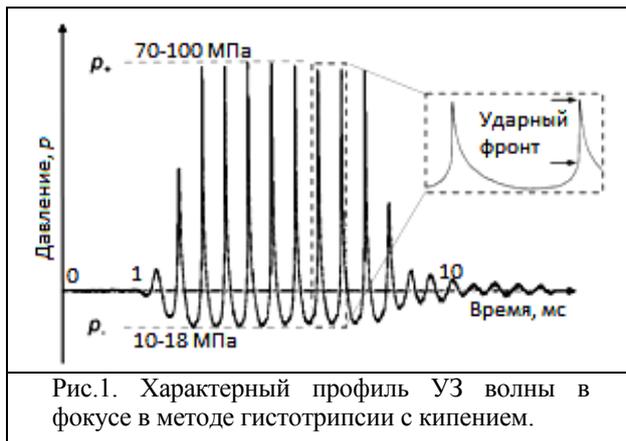
Пономарчук Е.М., Хохлова В.А., Буравков С.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия

E-mail: [msu.ekaterina.ponomarchuk@gmail.com](mailto:msu.ekaterina.ponomarchuk@gmail.com)

В течение последних десяти лет быстро развиваются новые технологии использования мощного фокусированного ультразвука (HIFU) в неинвазивной хирургии. Суть метода состоит в том, что энергия фокусированного ультразвукового пучка, источник которого находится вне тела, поглощается биологической тканью, в результате чего в области фокуса пучка происходит ее тепловая денатурация, а продукты разрушения выводятся из организма естественным путем. Несмотря на успех этого метода, были выявлены некоторые недостатки, например, опасность перегрева тканей, окружающих фокус. Недавно были предложены новые методы механического разрушения ткани, или гистотрипсии, которые свободны от этого недостатка и обладают также некоторыми другими клиническими преимуществами [Khokhlova *et al.*, 2015].

Одним из таких методов, который развивается в МГУ в сотрудничестве с университетом шт. Вашингтон в Сиэтле, является так называемая гистотрипсия с кипением. В этом методе используются нелинейные акустические импульсы, профиль которых содержит ударные фронты, поглощение на которых вызывает локальное кипение ткани в течении миллисекунд (Рис. 1). При этом образуется паровая полость миллиметровых размеров. Взаимодействие ударной волны с этой полостью приводит к образованию акустического фонтана и, соответственно, раздроблению ткани на мелкие фрагменты [Khokhlova *et al.*, 2015]. В недавней работе [Khokhlova *et al.*, 2014] был проведен первый эксперимент по сравнению метода гистотрипсии с кипением на образцах ткани свиной печени *ex vivo* и живой модели. Было показано, что степень тепловой денатурации ткани, а также размер и форма повреждения в целом схожи в живом и неживом организме. Также была выявлена устойчивость соединительной ткани к разрушению: сосуды в перифокальной области оставались неповрежденными. В то же время были обнаружены некоторые различия, такие как наличие гемолизированных эритроцитов в образце *in vivo*, которые были связаны с циркуляцией крови в организме.



Целью данной работы был более детальный морфологический анализ полученных разрушений в режимах *in vivo* и *ex vivo* с одинаковыми протоколами облучения для подтверждения работоспособности метода *in vivo* и применимости использования ткани *ex vivo* как модели. Образцы для анализа были предоставлены сотрудниками университета шт. Вашингтон и соответствовали эксперименту работы [Khokhlova *et al.*, 2014]: длительность импульсов — 10 мс, частота повторений — 1 Гц. После облучения ткань в месте воздействия иссекалась и мгновенно замораживалась в изопентановой бане, охлажденной сухим льдом. Далее ткань резалась на криомикротоме; срезы толщиной 5 мкм окрашивали гематоксилин-эозином, обезвоживали в спиртах восходящей концентрации и монтировали под покровное стекло. В результате такой окраски цвета ядер и цитоплазмы клеток сильно контрастируют, а соединительная ткань и пустоты не окрашиваются [Юрина Н.А. и др., 1995]. Исследование и фотографирование проводилось в МГУ на микроскопе Zeiss Axio Imager (Германия), захват производился с помощью камеры AxioCam MRc5.

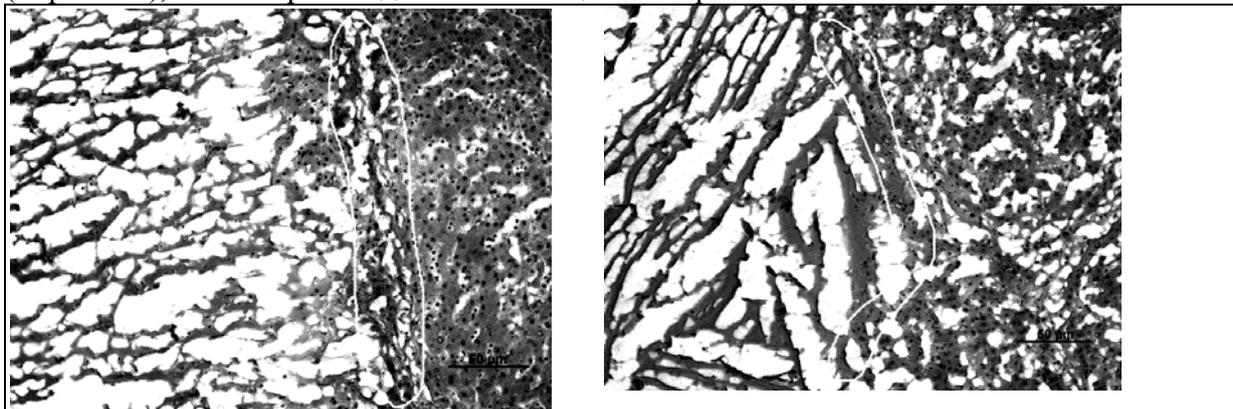


Рис. 2. Микроскопические фотографии повреждений *in vivo* (слева) и *ex vivo* (справа) при облучении импульсами длительностью 10 мс с частотой повторения 1 Гц при увеличении 20х.

На фотографиях образцов (Рис. 2) можно видеть, что повреждения (полосчатые образования в левой части фотографий) имеют схожую структуру как *in vivo*, так и *ex vivo*. Пустоты, образующиеся в зоне разрушения, обусловлены кристаллизацией льда при замораживании образцов. За зоной разрушения (правая часть фотографий) в случае *in vivo* следует практически неизменная ткань, а в образце *ex vivo*, переживающая гипоксию, наблюдается отечность, набухание клеток и расширение межклеточных пространств, вследствие недостатка питательных веществ и кислорода, что не связано с облучением ткани ультразвуком. Граница между разрушенной и интактной тканью в живом организме составляет около двух-трех клеток, а в неживом — порядка одной. Встречаются фрагменты ткани в фокальной области живой модели, что практически отсутствует в случае *ex vivo*. Это может быть связано с ослаблением межклеточных взаимодействий ткани, находящейся в тяжелом гипоксическом состоянии. Также в режиме *in vivo* около области разрушения обнаружены скопления лимфоцитов, что свидетельствует о развитии воспаления. Дальнейшее увеличение снимков показало полное разрушение гепатоцитов, что и являлось целью облучения.

Таким образом, в обоих образцах отмечается дезинтеграция ткани с потерей клеточного состава, причем наличие кровообращения и отклика организма *in vivo* не влияло на механический характер повреждения. Граница области ультразвуковой абляции видна более четко в случае *ex vivo*, но в обоих режимах составляет порядка нескольких

клеток. Встречались фрагменты ткани в области облучения живой модели, но содержащиеся в них ядра являются пикнотическими, то есть нефункциональными. Также обнаружено развитие воспаления в случае *in vivo*, что является следствием отклика организма на разрушение ткани. Таким образом, более подробный морфологический анализ зон облучения почки свиньи показал, что, несмотря на некоторые отличия, результат процедуры гистотрипсии с кипением в живом организме аналогичен полученному в режиме *ex vivo*. Это позволяет использование органов *ex vivo* в качестве моделей для апробации режимов гистотрипсии с кипением.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РФФИ № 16–02–00653.

### Литература

1. Юрина Н.А., Радостина А.И. Гистология. Москва: «Медицина», 1995.
2. Khokhlova V.A., et al. Histotripsy methods in mechanical disintegration of tissue: Towards clinical applications // Intern. Journal of Hyperthermia. 2015. 31(2), 145–162.
3. Khokhlova T.D., et al. Ultrasound-guided tissue fractionation by high intensity focused ultrasound in an *in vivo* porcine liver model // PNAS. 2014. 22(6), 8161–8166.

## ИССЛЕДОВАНИЕ СПАСЕНИЙ МИКРОТРУБОЧЕК С ПОМОЩЬЮ ФЛУОРЕСЦЕНТНОЙ МИКРОСКОПИИ ПОЛНОГО ВНУТРЕННЕГО ОТРАЖЕНИЯ

Ахмадеева Т.В.

МГУ имени М.В. Ломоносова физический факультет, Москва, Россия

E-mail: [mokote93@gmail.com](mailto:mokote93@gmail.com)

Микротрубочки представляют собой полярные цилиндрические полимеры, мономерами которых является белок тубулин. При неизменных внешних условиях поведение микротрубочек описывается термином «динамической нестабильности» [1]. Данный термин подразумевает под собой способность микротрубочек испытывать внезапные переключения между фазами полимеризации и деполимеризации. Процесс переключения от удлинения к резкому укорочению носит название катастрофы, а обратный ему процесс переключения от укорочения к удлинению, носит название спасения. Именно динамические свойства микротрубочек делают их особо важными участниками в регуляции митоза и внутриклеточного транспорта [2].

На сегодняшний день спасения менее изучены по сравнению с катастрофами, и данные по динамике спасений противоречивы. Так, при схожих экспериментальных условиях некоторые ученые наблюдают спасения и предоставляют статистику по характерным частотам спасений и скоростям деполимеризации [3], [4], в то время как другие научные группы не наблюдают спасений вообще [5], [6].

Целью наших исследований было установить подходящие экспериментальные условия для наблюдения спасений в очищенной системе белков, а также измерить распределение длин деполимеризации микротрубочек до наступления спасений.

Для этого нами решались следующие задачи. Во-первых, в ходе исследований необходимо было получить тубулин высокой степени очистки. Для этого мы выделяли тубулин из мозга коровы, осуществляя циклы полимеризации в высокосолевым буфере [7] при температуре 37 С, осаждения микротрубочек центрифугированием, деполимеризации тубулина при температуре 0–4 С и отделения недеполимеризовавшегося белка еще одним центрифугированием. Концентрацию тубулина определяли по поглощению при длине волны  $\lambda = 280$  нм с помощью спектрофотометра. Степень очистки тубулина оценивалась с помощью электрофореза в полиакриламидном геле.

Во-вторых, нами был осуществлен подбор условий для наблюдения динамической нестабильности микротрубочек. Микротрубочки полимеризовались из затравок, закрепленных на стекле проточной камеры, а их динамика наблюдалась с помощью флуоресцентной микроскопии полного внутреннего отражения (TIRF). Подбиралась оптимальная концентрация свободного тубулина в проточной камере, концентрация затра-