

О РАСШИРЕНИИ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УДАРНО-ВОЛНОВОЙ ТЕРАПИИ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКИХ ТЕХНОЛОГИЙ

Борис Мериин

В числе различных применяемых в медицине физических и электрофизических технологий, к которым следует отнести рентген, электрофорез, лазерные, ультразвуковые, душ Шарко и ряд других, особое место занимают электрогидравлические (ЭГ) технологии, основанные на эффекте высоковольтного (ВВ) импульсного электрического разряда в жидкости - эффекте Юткина [1]. ЭГ технологии в течение многих десятилетий успешно используются в промышленности, сельском хозяйстве, мелиорации, строительстве и прочих областях человеческой деятельности.

Наглядный пример - очистка труб от накипи и наслоений. На снимках (рис.1,2) показаны трубы и вырезанные из них образцы до и после ЭГ обработки.



Рис. 1. Трубы



Рис. 2. Образцы труб

чрезвычайно коротким

выделения энергии разряда (молния в воде). Даже при малой энергии канала разряда, но взрывной длительности её нарастания, мощность разряда и, соответственно, амплитуда давления могут быть чрезвычайно высокими. Например, для ЭГ дробления алмаза – самого прочного в природе материала (его крошка применяется в абразивном производстве) – достаточна энергия единичного разряда в пределах 100 Дж.

Энергия единичного разряда ($W = CU^2/2$) в используемых генераторах импульсов тока регулируется электрическими параметрами – рабочим напряжением U и ёмкостью конденсаторной батареи C . Меняя U и C при минимальной индуктивности L разрядного контура, можно получить желаемое время разряда ($t = \pi\sqrt{LC}$), а, следовательно, его мощность и характер силового воздействия [2]. Используя ЭГ технологию, можно «убить слона и подковать муху» (Л. Юткин) – т.е., например, формовать детали из стального листа толщиной 20 мм, и безопасно разрушать камни в почках человека. Для реализации процесса требуются лишь вода и электричество, которые должны быть поданы в необходимое место, например, в мочевого пузыря.

Разработанные в 70-е годы прошлого века Л. А. Юткиным (совместно с медиками) аппарат **Урат** для ЭГ дробления камней в мочевого пузыря и процедура терапии мочекаменной болезни десятилетия успешно использовали советские урологи. Аппарат **Урат** (позже **Урат-1М**) выпускался серийно в Литве (г. Вильнюс). Процедура ЭГ дробления камней состояла в следующем. В мочевого пузыря пациента, предварительно заполненный водой, вводили катетер с двумя изолированными проволочными электродами (плюс и

минус). Электроды подключали к генератору импульсов тока аппарата. После серии разрядов камни любой прочности разрушались и превращались в мелкий песок, который выводился из мочевого пузыря естественным путём. Результат ЭГ дробления контролировался ультразвуком. Процедура малоприятная для пациента, но не требует серьёзной подготовки и не вызывает каких-либо нежелательных последствий.

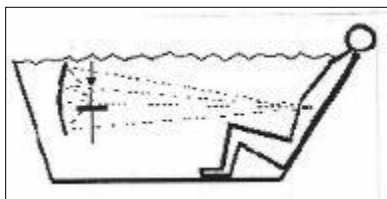


Рис. 3.

Аппарат **Урат** положил начало применению ударно-импульсной ЭГ технологии в медицине. В Германии было создано более комфортное ЭГ устройство для удаления почечных камней, в США в 1985 г. получено разрешение на использование подобного устройства. Процедура ЭГ дробления показана на рис. 3 (копия схемы из патента США). Пациента после предварительной анестезии размещали в ванне с водой. С помощью специального рефлектора и рентгеновской аппаратуры волны давления при разряде фокусировались на камне в почке, превращая камень в песок, который затем естественным путём выносился с мочой. Сейчас в медицинских центрах развитых стран имеются значительно более совершенные, серийно выпускаемые ЭГ установки для терапии мочекаменной болезни и удаления почечных камней.

Физика процесса ЭГ дробления в воде твёрдых частиц, например, упомянутой выше алмазной крошки, следующая. Процесс дробления обычно реализуется в жёстком режиме – при электрических параметрах разряда, обеспечивающих ударно-акустическое действие. Вода и твёрдые частицы существенно отличаются по акустическому сопротивлению (характеристика среды, которая определяется произведением плотности этой среды и скорости распространения в ней звука). В соответствии с законами распространения волн в упругой среде, ударная волна сжатия при ВВ разряде в воде, достигая твёрдых частиц, проходит частично сквозь них волной сжатия, частично отражается волной растяжения. Соотношение значений акустического сопротивления воды и частиц обуславливает соотношение долей энергии проходящей и отражённой волн. При амплитуде ударной волны, превышающей прочность твёрдого материала, создаются условия для его разрушения.

Физическая картина ЭГ разрушения камней в органах человека аналогична. Вследствие относительно близких акустических характеристик воды и тела, волна сжатия, излучаемая ВВ разрядом, проходит сквозь воду и ткани тела без значительных энергетических потерь. Достигая камня, т.е. плотной среды с резко отличающимися акустическими характеристиками, волна сжатия на границе сред (ткань – камень – ткань) отражается волной растяжения, которая также, или более разрушительно, действует на камень. Разрушению камней активно способствуют и волны растягивающих напряжений, возникающих в процессе схлопывания кавитационных каверн, формирующихся после разряда в воде. Кавитация в воде, как известно, способна разрушить прочные металлические материалы (хорошо известна, например, проблема кавитационного разрушения судовых винтов).

Как показали исследования и многолетняя практика, в процессе ударной терапии не возникает каких-либо медицинских проблем при прохождении волн сквозь и между мышцами, а также существенно более плотными тканями кости (по-видимому, благодаря эластичным амортизирующим соединительным тканям, упругим связкам, хрящам, надкостницам).

Принципы ударно-акустического воздействия на организм получили успешное развитие [3] в совместной разработке Германии и Швейцарии. Ударно Волновая Терапия (УВТ, в зарубежной литературе Shockwaves) согласно Википедии, – метод наружного кратковременного действия на костные и соединительные ткани акустических импульсов значительной амплитуды и низкой частоты (16-25 Гц, спектр инфразвука). При этом, в основном, используются существенно менее интенсивные силовые воздействия на ткани, чем при ЭГ терапии. Проведённые рядом клиник плацебо – контролируемые исследования совершенно чётко показали, что ударная волна обладает уникальными регенеративными свойствами (некоторые ещё недостаточно осмыслены): переломы срастались, боли проходили, восстанавливалась микроциркуляция крови. Технологии УВТ активно развивают в Украине (Киев) и в России (Москва). Так, например, в киевском медцентре «Аватаж» освоены ударно-волновые технологии лечения позвоночной грыжи, простаты, некроза, целлюлита, урологических проблем, болей в плече, локте, шее, сердце.



Рис. 4. Применение УВТ в лечении ишемической болезни сердца

Ударные волны способствуют (по данным «Аватаж» [7]):

- улучшению кровообращения в области применения УВТ (во время процедуры циркуляция может ускориться в 40 раз);
- уменьшению болезненных ощущений или полному избавлению от них;
- резкому увеличению защитных функций иммунной системы в области воздействия УВТ;
- распаду кальцинированных фибропластов, костных наростов, фиброзных очагов и постепенному рассасыванию

их фрагментов;

- выбросу эндорфинов, которые обладают способностью уменьшать болевые ощущения;
- повышению устойчивости сухожилий и связок к дальнейшим травмам и физическим нагрузкам;
- улучшению подвижности в поврежденной части тела;
- увеличению и распространению цитокинов, которые ограничивают развитие воспаления, обеспечивая межклеточное взаимодействие через стенки сосудов, что ускоряет процесс выздоровления;
- прорастанию в области процедуры новых микрососудов (неангиогенез – доказано клиническими исследованиями Mariotto, Италия, 2005 г; Oi, Nishida, Shimokawa, Япония, 2008 г.), что способствует улучшению питания тканей и стойкому уменьшению болевого синдрома.

Первый принципиально новый аппарат для ударно-волновой терапии был представлен в 1999 году фирмой EMS (Швейцария). Сейчас аппараты для УВТ изготавливают многие развитые страны (швейцарская фирма EMS, немецкая MTS, др.) Лидером в исследовании технологий, производстве и конструировании установок с 2012 г. является компания Gumna (Бельгия).

Ниже приведены некоторые примеры успешного применения в США ударной, чаще ультразвуковой, терапии (причём, *без использования ЭГ эффекта, а значит с существенно меньшей амплитудой действующего давления*).

УВТ обеспечивает лечение спортивных травм, диабетических ран, пяточных шпор, хронических заболеваний связок и сухожилий. Специалисты медицинского центра PainPhysiciansNY, практикующего в Нью-Йорке, применяют метод УВТ при массаже

поверхности болевого места специальным наконечником, соединенным с портативным излучателем волн. Процедура хорошо переносится, не требует обезболивания, не провоцирует побочные эффекты. При этом «деликатно разбиваются отложения солей и фиброзные образования, размягчаются рубцовые ткани, стимулируется выработка коллагена, повышается эластичность связок и сухожилий, запускаются процессы обновления клеток, улучшается метаболизм». УВТ позволяет убрать подкожные жировые прослойки, лечит диабетические раны, активно используется в косметических целях. Разработана специальная, выпускаемая серийно, типовая УВТ - аппаратура для соответствующих процедур.

В настоящее время метод УВТ, в основном, применяется для восстановления утраченных функций систем организма, для уменьшения болезненных ощущений или полного избавления от них, в косметике [3]. ЭГ воздействие, позволяющее обеспечить более высокую (на порядок) амплитуду акустического давления, может способствовать решению и ряда других проблем, например, очистки крови от больных клеток, удалению недоброкачественных и излишних жировых образований.

Обсуждаемые далее методы **ударно-волновой терапии**, реализуемые с **ЭГ воздействием**, опираются на удовлетворительный многолетний опыт клинического использования ударно-акустического силового действия на организм человека. ЭГ терапия, осуществляя интенсивное ударное действие на ткани, способствует деструкции и выведению из организма инородных включений, жировых прослоек, злокачественных, в т.ч. раковых, образований. Эффект ЭГ воздействия зависит от разницы значений акустического сопротивления здоровых и нездоровых тканей, излишних вредных прослоек, возможных включений (например, камней). При этом положительный результат достигается без хирургического вмешательства.

ЭГ деструкция жировых прослоек

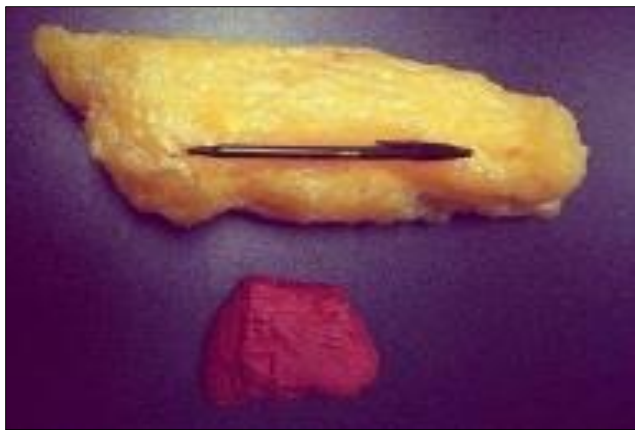


Рис. 5.

На рис. 5 приведена фотография 1 кг мышечной ткани в сравнении с 1 кг жировой ткани, плотность которой на порядок меньше. Скорость звука в среде коррелируется с её плотностью, поэтому очевидно, что акустическое сопротивление жировой и мышечной ткани существенно разнятся. При ЭГ воздействии ударной волны по всем точкам контакта возникнут растягивающие напряжения, волна сжатия превратится в волну растяжения. Растягивающие напряжения,

превышающие прочность жировой ткани, способствуют её деструкции. Сеансы ЭГ обработки, как и при УВТ, целесообразно проводить сериями с промежутками времени, за которые из организма (самостоятельно или с помощью УВТ) полностью выводятся разрушенные жировые клетки. Для достижения хороших результатов ЭГ липосакции (без хирургии), будет полезен, как и при УВТ, лимфодренажный массаж области тела, подвергнутой обработке.

ЭГ разрушение раковых клеток

При необходимости уничтожения некой конгломерации раковых клеток сегодня используются химиотерапия или лучевая (рентгеновская) обработка. Оба метода имеют известные серьёзные побочные эффекты, связанные с необходимостью обеспечения избирательного действия на больные клетки. Ударное акустическое ЭГ воздействие может быть избирательным. Акустическое действие в однородной среде идентифицирует (подобно промышленному дефектоскопу) инородное скопление клеток. Учёные Массачусетского технологического института совместно со специалистами университета Карнеги-Меллон разработали способ распознавания раковых клеток в крови (рис.6) при воздействии ультразвуковых волн. Изготовленное ими небольшое устройство позволяет

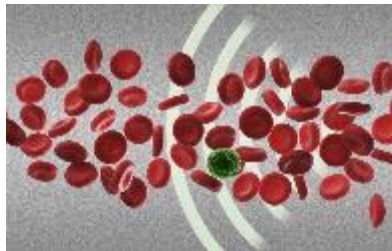


Рис. 6.

обнаружить инородные клетки, циркулирующие в крови онкологических больных, что поможет врачам предсказать развитие опухоли на ранней стадии и возможность её дальнейшего распространения. Ультразвуковое разделение клеток является простой альтернативой существующим способам маркировки клеток химическими веществами. «Звуковое воздействие является самым щадящим и естественным способом отделить клетки», говорит Мин Дао, научный сотрудник Отдела материаловедения и

инжиниринга MIT. «Этот способ является прорывом в технологии обнаружения циркулирующих раковых клеток в организме. У него есть потенциал, чтобы предложить безопасный и эффективный новый инструмент для врачей и пациентов», утверждает Субра Суреш, президент Университета Карнеги-Меллон.

Имеются сведения о разрушении (ультразвуковом «сжигании») микроучастков тканей мозга при «операции без операции» - лечении болезни Паркинсона по технологии, разработанной израильской научной компанией «Инсайтэк» совместно с медцентром «Рамбам». По-видимому, медики пока не готовы реализовать технологию акустического разрушения злокачественных образований. Раковые клетки образуют более плотные ткани, чем здоровые, их удельный вес выше. Можно с достаточной уверенностью полагать, что при ударном ЭГ воздействии эти инородные клетки не только идентифицируются, но одновременно могут быть разрушены под действием фронта растягивающих напряжений.

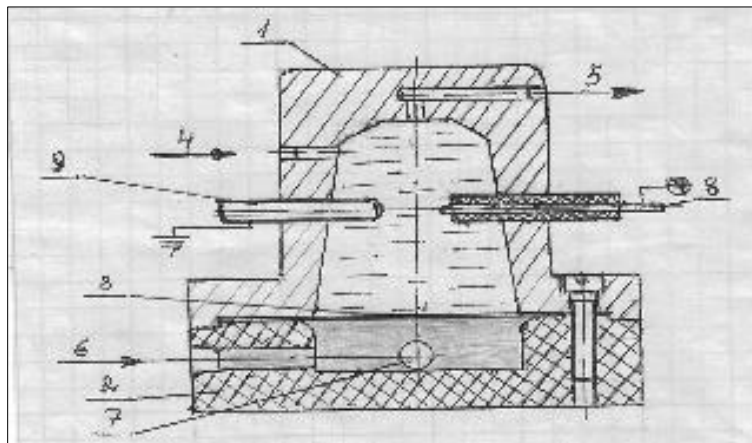


Рис. 7.

Стоит отметить, что и клетки с вирусом малярии, имеющие плотность на 20% больше здоровых, могут быть разрушены таким же образом.

Процесс разрушения более плотных раковых клеток может быть организован путём ЭГ обработки крови, выводимой из организма (как при диализе) с помощью предлагаемой нами простой портативной камеры (см. эскиз на рис. 7). Камера

герметично разделена тонкой эластичной полиуретановой/резиновой диафрагмой 3 (рис.7) на два отсека: верхний отсек 1 – для протока воды и организации в ней в/в разряда; нижний

отсек 2 – для ЭГ обрабатываемой крови. Вода по каналу 4 подаётся и заполняет верхний отсек 1 и сливается по каналу 5. Кровь для обработки вводится в нижний отсек 2 по каналу 6 и выводится по каналу 7. Разряд осуществляется между двумя введёнными в верхний отсек камеры электродами – положительным 8, соединенным с источником питания (не показан) и заземлённым отрицательным 9. ЭГ обработку крови следует проводить сериями разрядов, с перерывами для выведения из организма разрушенных больных клеток. Частота разрядов (например, 2 – 5 Гц) выбирается в соответствии со скоростью потока крови в зоне обработки.

Представленное устройство, состоящее из нескольких деталей, удобно для лабораторных и клинических исследований. В последнем случае дополнительно возможно продавливание клеточной массы [6] через специальный фильтр. Здоровые клетки при этом проходят беспрепятственно, а более крупные больные разрушаются из-за разрыва мембраны.

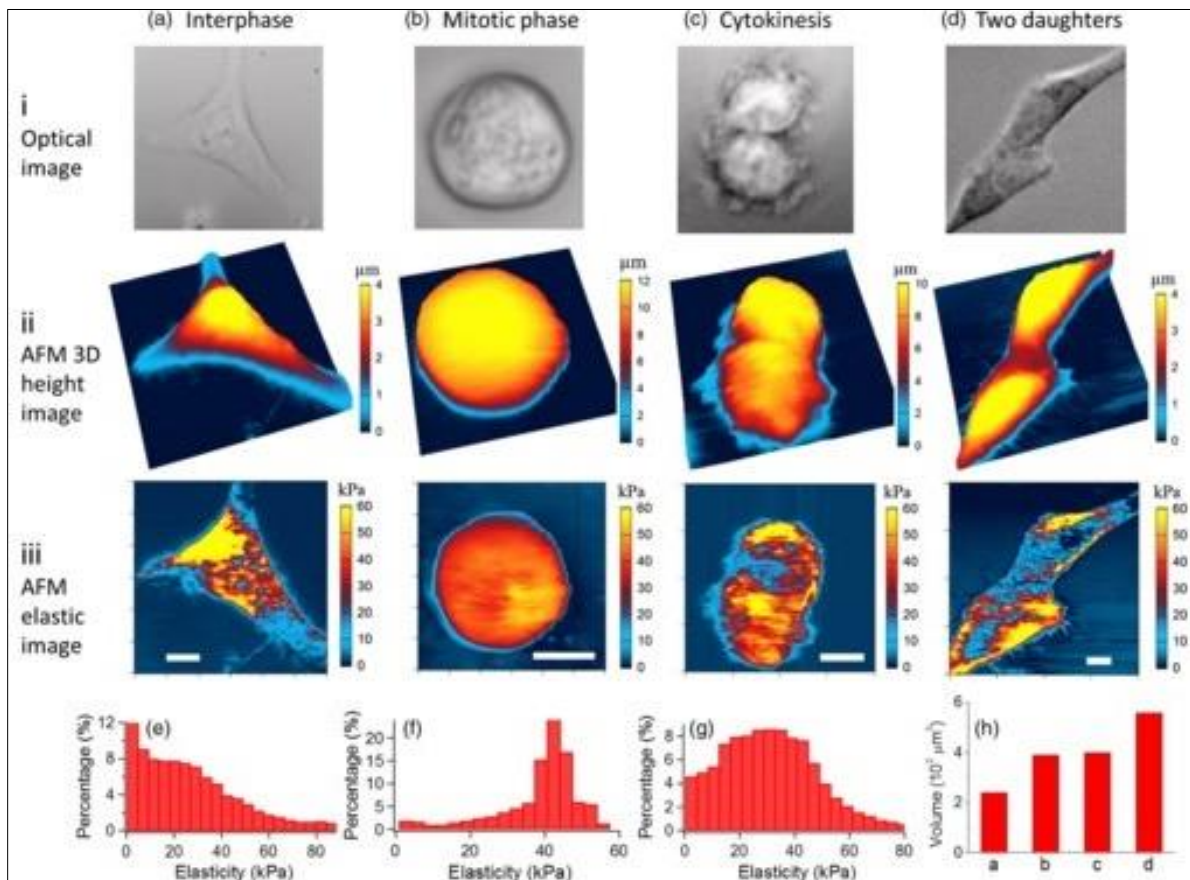


Рис. 8.

Последние исследования учёных, например, физиков, изучавших живые клетки с помощью атомно-силового микроскопа, показали (рис.8), что в процессе деления раковой клетки механические свойства клеточной мембраны изменяются: среднее значение модуля упругости значительно уменьшается, эластичность возрастает, площадь поверхности мембраны увеличивается в соответствии с клеточным объёмом. Таким образом, происходит утонение мембраны и снижение прочности раковой клетки (в сравнении со здоровой). Это означает, что в момент двоения клетки можно обеспечить такой режим ЭГ обработки, при котором будут разрушаться больные клетки, имеющие утонённую мембрану, а здоровые

клетки будут оставаться живыми. При этом, следует отметить, что при раке крови частота двоения больных клеток на несколько порядков выше частоты двоения здоровых.

ЭГ терапия злокачественных уплотнений

Конгломерация раковых клеток в виде некоего уплотнения имеет большую плотность, чем окружающие здоровые ткани. Для деструкции и задержания роста подобных уплотнений также возможно использовать ударную терапию. ЭГ обработка зоны опухоли будет предотвращать разрастание метастаз, формируя вокруг уплотнения, по всему его контуру, поле разрушающих напряжений, которые деструктурируют уплотнение и разрывают биологическую связь между ним и здоровой тканью.

Для ЭГ обработки уплотнений на поверхности (или близко к ней) тела может быть использован верхний отсек 1 описанного выше устройства (рис.7), в котором следует обеспечить прилегание модифицированной диафрагмы 3 к месту опухоли. Для ЭГ обработки внутренних уплотнений можно изготовить миниатюрную камеру (рис.9) с тонкими эластичными стенками (они выполняют роль диафрагмы), введёнными



Рис. 9.

электродами, подачей и отводом воды. Такие камеры в виде катетера можно инвазивно приближать к опухоли и тем самым повысить результативность ЭГ воздействия.

Сегодня нет достаточных знаний о прочности тканей и составляющих их клеток, а также о специфике разрушения при различном виде механических нагрузениях (статическом, акустическом, ударном, при возникающих напряжениях растяжения, сжатия, сдвига). Однако имеются методы определения плотности различных клеток [4], поэтому успешность ЭГ терапии, например, различных форм рака, может быть в какой-то мере предсказуема.

Очевидно, в процессе любого мощного ударного воздействия (при ЭГ-терапии) ударная волна не должна иметь амплитуду давления, повреждающую здоровые клетки, ткани, органы человека. Предполагается также, что разрушенные клетки могут самостоятельно удаляться организмом и не требуется особого реабилитационного периода, кроме перерывов между ЭГ процедурами и, возможно, дренажного массажа. Многолетний (десятилетия) положительный опыт свидетельствует о том, что технология УВТ и ударная ЭГ технология не разрушают здоровые клетки, ткани, органы человека – они остаются здоровыми.

По-видимому, успех ЭГ терапии связан с чрезвычайной эластичностью тканей человека и кратковременностью (доли микросекунды) действия ударных нагрузок с максимальной амплитудой. Согласно представлениям физиков, жидкости (в основном, именно из них, состоит организм), могут выдерживать очень большие разрушающие напряжения, достигающие 1000 МПа. Силовое же нагружение при ЭГ терапии обычно на 1-2 порядка ниже. Отмечается также положительная роль противоболевого эффекта, который, в ответ на раздражение болевых рецепторов усиливает выработку эндорфинов. Например, известно, что космонавты при запуске на орбиту испытывают колоссальные перегрузки, но остаются работоспособными и сохраняют здоровье.

Реализация процесса ударной ЭГ терапии возможна на имеющихся у медиков ЭГ аппаратах и установках после некоторой их модификации в соответствии с реализуемым процедурным процессом. Кроме этого, подобные, обычно портативные аппараты, собираются из стандартных узлов и легко изготавливаемых приспособлений (рис. 7 и 9).

Резюмируя изложенное, следует полагать, что ЭГ терапия имеет широкие, во многом ещё не используемые, возможности в медицинской практике. Необходимы соответствующие экспериментальные и клинические исследования.

Источники

1. **Л. А. Юткин.** Электрогидравлический эффект и его применение в промышленности. Л. Изд. Машиностроение. 1986 г.
2. **Б. В. Мериин.** Электрогидравлическая обработка машиностроительных изделий. Л. Изд. Машиностроение. 1985 г.
3. **В. В. Титов.** Ударно-волновая медицина: традиции и инновации. Интервью с президентом региональной общественной организации «Общество специалистов ударно-волновой медицины». Журнал «Косметика & медицина» (№ 5, 2009 г.)
4. <http://news.mit.edu/2011/cell-density-0621>,
http://nanomechanics.mit.edu/sites/default/files/documents/2011_PNAS_Will_cell.density.pdf
5. **D. Guan et al.** Physical Review Applied, 2017
6. В Сеченовском университете начали применять новейший метод очищения крови
<https://www.gazeta.ru/science/news/2023/07/18/20895128.shtml>
7. <https://awatage.com/video-oyu-uvt/obshhaya-informatsiya-o-metode-uvt/>
<https://awatage.com/about/testimonials>
8. **Л. Юткин, Л. Гольцова А. с.** СССР № 221479. Способ разрушения клеточных структур растительных и животных тканей. Бюллетень Изобретений, 1983, №2. Заявлено 15.01.66; **Л. Юткин, Л. Гольцова А. с.** СССР №196632. Способ очистки и обеззараживания жидкостей, преимущественно питьевых и сточных вод. Бюллетень Изобретений, 1983, №18. Заявлено 02.01.58
<https://awatage.com/video-oyu-uvt/obshhaya-informatsiya-o-metode-uvt/>