

ПРОЕКТ «ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЙ АСПЕКТ КРИООПЕРАЦИЙ»

Д. С. Симанков

Российская медицинская академия последипломного образования
г. Москва

Основной целью проекта является создать и продвигать систему планирования криоопераций на базе программы Comsol.

Для успешного применения методов криохирургии на практике врачам, планирующим проведение операции, а также инженер проектирующим эффективно действующую криогенную медицинскую аппаратуру, необходимо не только правильно рассчитать параметры локального криовоздействия на биологическую ткань, но и уметь прогнозировать его результаты. В настоящее время для оценки результатов локального криовоздействия применяют как эмпирический метод, так и метод математического моделирования. Метод математического моделирования не позволяет точно описать реакцию организма на криовоздействие и рассчитать зоны некроза. Его внедрение в практику требует тщательной экспериментальной проверки. Именно этим и следует заняться, поскольку врачей, обладающих высокими практическими знаниями в криомедицине очень мало, а поток пациентов достаточно высокий.

Предполагаемая работа направлена на создание системы планирования криоопераций. На данный момент такой системы in clisio нет. Сегодня существует программное обеспечение исследовательское, которое ведёт расчёт по специальным численным методам для проверки теории в разных институтах.

Программных продуктов, реализующих численный конечно-разностный метод, много. Только в отличие от них в Comsol есть модуль динамических процессов биотепла, а так же при помощи стороннего программного обеспечения можно, например от компании Simpleware, задать реальную геометрию опухоли, полученную диагностической медицинской техникой (МРТ, КТ).

Существует не так много методов измерения теплофизических истеных свойств твёрдых и пластических материалов. Это иррегулярный тепловой нагрев и методика использующая лазер. Наиболее простым, в техническом исполнении, является метод иррегулярного теплового нагрева, который применим и к исследованию теплофизических свойств жидкостей и газов, а так же для изу-

чения биоматериалов. Последнее имеет специфический характер, поскольку теплопроводность (как и другие физические характеристики) имеет сильно нелинейный характер и обладает свойством анизотропии в диапазоне температур от -30°C до 0°C .

За последние 30 лет было много предпринято попыток описать тепловые процессы в тканях. В основном описывали нагрев биотканей, комфортные условия, ожог, обморожение, и изредка криодеструкцию. Наиболее полно криодеструкцию рассмотрели ряд авторов – Цыганов Д.И., Шафранов В.В., Khaled A. R. A., Vafai K., Nanev C. N., Baumeister W. и другие. Хороший обзор сделал Жмакин А.И. «Физические основы криобиологии».

Криодиструкция относится к разделу криохирургии, медицина. Преимуществами криодеструкции по сравнению с термическим воздействием или хирургическим вмешательством является: анестезирующий, гемостатический и противовоспалительный эффекты; соблюдение абластики; минимальная перифокальная реакция; косметический эффект. Недостатками являются: сложность контроля и прогнозирования результатов криовоздействия; объем некроза, как правило, всегда меньше объема замораживания; температура некроза индивидуальна для каждого органа или ткани (средняя равна -20°C); зона некроза формируется на 3-5 сутки.

Рассмотрим процесс криодеструкции более подробно. Термомеханические напряжения, возникающие в тканях при высокой скорости охлаждения, приводят к набуханию, смещениям и трещинам. Механические повреждения в тканях при этом довольно значительны и протекают на уровне микроциркуляции.

Широко известно, что ткани – это не только системы функционирующих клеток и межклеточного вещества, но и в то же время – плотно упакованная и энергетически насыщенная структура, обладающая значительной механической прочностью. 1 грамм массы человеческого тела выделяет тепла в 10000 раз больше, чем 1 грамм массы солнца. Криоинструмент с наконечником может рассматриваться как точечный источник холода.

Основными факторами, определяющими зону некроза являются свойства биоматериала и скорость охлаждения их. Вероятность выживания клеток после замораживания зависит от скорости их оттаивания. Выживаемость клеток возрастает с увеличением скорости оттаивания. Объяснение подобному явлению заключается в том, что более высокие скорости отогрева снижают вероятность рекристаллизации внутри клетки во время этого процесса. Совершенно очевидно, что этот факт может оказывать существенное влияние на эффективность разрушения клеток ткани при проведении криохирургических процедур. При одинаковых скоростях охлаждения и отогрева вероятность гибели клеток существенно зависит от температуры, до которой произведено охлаждение.

Если охлаждение происходит достаточно медленно, то при прохождении молекул воды сквозь клеточную мембрану химический потенциал раствора внутри клетки и во внешней среде успевают сравняться, и клетка переходит в дегидратированное состояние. При этом концентрация внутриклеточных растворов возрастает, что может привести к гибели клетки. С другой стороны, если охлаждение происходит очень быстро, то молекулы воды не успевают пройти сквозь клеточную мембрану, и образование кристаллов воды происходит внутри клетки, в результате чего клетка разрушается.

Одним из основных факторов, влияющих на вероятность гибели клеток ткани при ее охлаждении, является уровень достигаемых температур. Так же, разрушение ткани зависит от скорости изменения в ней температуры. И оба этих фактора, неразрывно связаны между собой. К повреждающим факторам криовоздействия следует отнести то, что в замороженной ткани происходит прекращение кровообращения. Дефицит кровоснабжения вследствие облитерации микрососудов в замороженной ткани зачастую приводит к разрушению ткани, клетки которой могли бы выжить при замораживании/оттаивании *in vitro*.

Образование крионекроза не оказывает ощутимого отрицательного воздействия на весь организм. Местная реакция вокруг очага поражения тканей также минимальна. Это позволяет расценивать криогенный метод как один из наиболее физиологичных методов, применяемых в медицине. Такое подтверждается и результатами восстановительных процессов в зоне криовоздействия. Практически во всех тканях происходит регенерация

без образования гипертрофических и келоидных рубцов, что исключает существенные функциональные нарушения, а также косметические дефекты.

Поэтому ставятся такие задачи:

1) создание нового поколения техники, способное производить измерения динамические с необходимой точностью;

2) проведение полномасштабных серий экспериментов по определению теплофизических и механических свойств на различных биоматериалах как с патологией, так и без;

3) покупка лицензионного софта для задания аналитических и эмпирических, полученных данных из эксперимента, и литературных данных о биоматериале и режимах криодеструктора, а также задания реальной геометрии опухоли и наконечника криодеструктора.

На данный момент собраны литературные данные по механическим и теплофизическим свойствам тканей при воздействии на них очень низкими температурами. Достигнуты договорённости с больницами и ветеринарными клиниками в РФ для содействия в проведении эксперимента. Составлено техническое задание и найден исполнитель для создания нового поколения установки измеряющей динамические молекулярные теплофизические характеристики объекта *in vivo*. В начале траты составят на установку экспериментальную, датчики и лицензирование техники, которую можно так же использовать в коммерческих целях или по договорам с такими потенциальными потребителями как МИСиС, НПО Энергия, и другие производственные организации где желают знать истинные теплофизические характеристики выпускаемой продукции или в исследовательских целях. Идёт поиск людей у кого установлено лицензионное ПО (Comsol + MathLab, Unigraphics NX4 или другое, Simpleware) для проведения исследования *in clisio*. Готовятся переговоры с компанией, которая выпускает программу Comsol.

Экономическая эффективность видна не сразу. После создания установки измерительной её эксплуатация будет не только в научном плане по заявленной теме проекта, а также по договорам с государственными и негосударственными учреждениями на коммерческой основе. На накопленный капитал планируется покупка в начале части программного обеспечения и сотрудничество с вычислительным центром (Например, в МАИ (ГУ)). Далее покупается необходимое ПО и автор начинает полностью самостоятельную

реализацию изначально задуманного основной цели проекта.

Для более наглядного применения системы планирования криоопераций автор может выехать в любую больницу или центр, где проводятся криооперации, пройти там стажировку, либо удалённо зная характеристики оборудования применяемого где-то рассчитать зону некроза и дать рекомендации как более качественно провести диструкцию.

Стратегия развития этого проекта конечного сводится к рекламе на первых этапах в виде конференций, симпозиумов, докладов и публикации не только в ВАКовских журналах, но в специализированных, и обязательно в зарубежных, для повышения своего индекса цитируемости в будущем и конечно что бы в мире знали, что возможно не «на глазок и опыт» проводить криооперации. Далее, после апробации программы в больницах в РФ и сбора отзывов врачей, оформить её как интеллектуальную собственность и запатенто-

вать по возможности. После этого можно свободно выходить как на внутренний рынок, так и на внешней, и предлагать её как государственным, так и не государственным лечебным заведениям.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Спирин Г.Г. «Кратковременные измерения в стадии иррегулярного теплового режима и диагностика теплофизических свойств диэлектрических веществ и материалов на их основе»: Дис.докт. техн. наук. М.: ИВТАН. 1986. 390с.
2. Цыганов Д.И. Монография. «Теплофизические аспекты криохирургии», Москва Рос. мед. акад. последиплом. образования 2005
3. Фомин А.А., Шафранов В.В., Гераськин А.В., Борхунова Е.Н., Докторов А.А., Цыганов Д.И., Денисов-Никольский Ю.И. «Закономерности повреждения биологических тканей при аппаратной криодеструкции» Детская хирургия, 2003
4. <http://www.med-edu.ru>
5. <http://www.comsol.com>