

Среди анализируемых биохимических показателей сыворотки крови белых крыс отмечается достоверное увеличение белка на 6,9 % (СОТСМ-1) и на 8,6 % (СОТСМ-2) по отношению к контролю. В подопытных группах усиливается ферментативная активность сукцинатдегидрогеназы, лактатдегидрогеназы в печени и глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы в крови, что может свидетельствовать об их резорбтивных свойствах.

Наблюдаемое к концу эксперимента в обеих подопытных группах увеличение флуоресценции триптофанилов на фоне увеличения активности СОД, глутатионредуктазы, глутатионтрансферазы и содержания SH-групп позволяет говорить об активизации антиоксидантной системы процессов перекисного окисления белков.

Длительное эпикутанное воздействие СОТСМ-1 и СОТСМ-2 вызывает изменения со стороны показателей неспецифического иммунитета и проявляется угнетением бактерицидной активности сыворотки крови на 25,5 и 28,7 % соответственно, что свидетельствует о напряженности неспецифического иммунитета.

К концу эксперимента у подопытных животных обеих групп не отмечается статистически значимых различий в значениях массы тела и относительных коэффициентов массы внутренних органов (печень, сердце, селезенка и почки) по сравнению с контролем.

Выводы

1. Изученные СОТСМ по значению среднесмертельных доз для белых крыс (более 7500 мг/кг) и белых мышей (более 25 000 мг/кг) относятся к малоопасным композициям (4 класс опасности, согласно ГОСТ 12.1.007-76).

2. СОТСМ в нативном виде обладают слабовыраженным местно-раздражающим действием на слизистую глаз кроликов.

3. В условиях повторного эпикутанного воздействия СОТСМ, не вызывая развития местно-раздражающих эффектов со стороны кожных покровов экспериментальных животных, способны оказывать кожно-резорбтивное действие.

4. При промышленном применении СОТСМ необходимо предусмотреть меры защиты глаз и кожных покровов работающих (спецодежда, перчатки, очки).

ЛИТЕРАТУРА

1. Рожковская, Г. П. Гигиенические аспекты применения смазочно-охлаждающих технологических сред (кожная токсичность, ускоренная оценка, меры безопасности): автореф. дис.... д-ра мед. наук / Г. П. Рожковская. — Киев, 1990. — 44 с.
2. Требования к постановке экспериментальных исследований для первичной токсикологической оценки и гигиенической регламентации веществ: инструкция / ГУ РНПЦ гигиены; сост.: Л. В. Половинкин [и др.] — Минск, 2004. — 43 с.
3. Динамика изменения веса и весовые индексы внутренних органов у белых мышей в зависимости от состава газовой среды и питания / С. С. Шварц [и др.] // Космич. биология и авиакосмич. медицина. — 1973. — Т. 7. — № 4. — С. 30–34.
4. Руководство по лабораторным методам диагностики / А. А. Кишкун. — М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. — 800 с.
5. Бельский, Л. М. Количественные элементы фармакологического анализа / Л. М. Бельский. — Рига: Изд-во АН ЛатССР, 1963.

УДК 611.08;539.412.1:539.52(045)

ОСОБЕННОСТИ МИОКАРДА КАК МНОГОСЛОЙНОГО КОМПОЗИЦИОННОГО МАТЕРИАЛА

Туманов Э. В., Мальцева Н. Г.

Учреждение образования

«Гомельский инженерный институт» МЧС Республики Беларусь,

Учреждение образования

«Гомельский государственный медицинский университет»,

г. Гомель, Республика Беларусь

В исследованиях, посвященных изучению биомеханических свойств сердечной мышцы, миокард, как правило, изучается на макроструктурном уровне. При этом в расчетах миокард принимается как монолитная, формирующая форму камер сердца мышца, подразделяющаяся посредством фиброзного кольца на миокард предсердий и миокард желудочков, в которой выделяются анатомо-топографические участки (миокард передней стенки левого желудочка, миокард задней стенки левого желудочка и т. п.).

Сердце в этих случаях часто рассматривается как 2 полых мышечных органа — «левое» сердце и «правое» сердце, каждое из которых состоит из предсердия и желудочка, а при биомеханическом моделировании предполагается, что миокард обладает свойствами изотропности, линейной упругости и однородности ткани [3].

Применительно к математическому моделированию механических процессов, происходящих в сердце, концепция макроструктурного единства миокарда позволяет рассматривать его биомеханику на основании механики сплошных сред с использованием математической теории упругости и вязкоупругости. Механические свойства при этом принимаются близкими к свойствам полимерных материалов [2].

На основе общей теории композиционных материалов можно более полно объяснить вязкоупругое поведение миокарда при различных видах нагрузок. Основанием для отнесения сердечной мышцы к композиционным материалам является то обстоятельство, что при рассмотрении на гистологическом уровне организации миокарда отмечается его выраженная неоднородность и наличие многочисленных, разделенных выраженной градацией и различающихся по своей структуре составляющих, совокупность которых придает сердечной мышце новые свойства, отличные от свойств составляющих ее компонентов [5].

Рассматривая миокард как биологический композиционный материал, в нем можно выделить представленный кардиомиоцитами равномерно распределенный в объеме компонент (матрица), а также армирующие элементы, расположенные в матрице в определенном порядке.

Механическое поведение миокарда как композита определяется соотношением свойств армирующих элементов и матрицы, а также прочностью связи между ними. Высокая ударная вязкость миокарда обусловлена равномерным распределением и наноскопическими размерами кардиомиоцитов и других компонентов. Это приводит к тому, что сила воздействия поглощается пулом кардиомиоцитов и энергия рассеивается в микротрещинах, которые не нарушают макроскопическую целостность миокарда.

На границах раздела матрицы миокарда и других его компонентов располагаются переходные поверхностные слои, представленные межклеточным веществом, свойства которого отличаются от свойств основных компонентов сердечной мышцы.

Свойства переходного слоя, прежде всего, адгезия с компонентами миокарда, в большой мере, определяют как биомеханические характеристики сердечной мышцы, так и их стабильность во времени. При механической нагрузке миокарда напряжения достигают максимальных значений именно на границах раздела компонентов. Одна из важнейших механических функций переходного слоя заключается в минимизации локальных напряжений и обеспечении равномерной нагрузки на границе раздела фаз.

Наличие границ раздела между армирующими элементами и матрицей существенно повышает стойкость миокарда к образованию трещин, в результате чего, повышение статической прочности приводит не к снижению, а к повышению характеристик вязкости разрушения.

Благодаря переходному слою свойства миокарда как композита не аддитивны свойствам компонентов, но приобретают свойства синергизма, когда значение каждого из основных параметров компонентов миокарда превышает сумму соответствующих значений всех его компонентов.

Наличие у миокарда упорядоченной структуры позволяет отнести его к ориентированным армированным композитным материалам. Коллагеновые волокна и сеть кровеносных сосудов миокарда являются упрочняющими элементами, обладающими более высокой прочностью и жесткостью, чем другой связующий материал.

Обусловленная распределением напряжений в участках сердечной мышцы ориентация миокардиальных волокон, оптимизирует структуру миокарда по весовым характеристикам, что позволяет выполнять сердцу работу с минимизированной до достаточного уровня толщиной камер сердца.

Порядок и расположение армирующих и структурных элементов миокарда обуславливают его анизотропные свойства — неодинаковость свойств (упругости, прочность растяжения и др.) по различным направлениям внутри сердечной мышцы.

Миокард как армированный композитный материал, существенно неоднороден (гетерогенен) в пределах поперечных размеров армирующих элементов, но поскольку эти размеры всегда пренебрежительно малы по сравнению с размерами сердца, то расчет миокарда может строиться на основе гипотезы об анизотропной и однородной (квазигомогенной) сплошной среде [1].

В этом случае порядок и расположение армирующих элементов миокарда будет обеспечивать расчетную схему анизотропии его среды.

Анизотропия слоев сердечной мышцы как композитного материала зависит от степени ориентации кардиомиоцитов и армирующих миокард волокон. Чем более направление армирующей матрицы совпадает с направлением и ориентацией слоев миокарда, тем больше повышается прочность и жесткость сердечной мышцы в целом.

Вследствие этого, для получения более полных механических характеристик миокарда, необходимо учитывать геометрию армирующих его элементов, тип и интенсивность армирования. Учитывая это обстоятельство, структурное моделирование миокарда как биологического композитного материала будет наиболее эффективным, если оно будет базироваться на концепции многослойного строения сердечной мышцы [4].

Исходя из этих данных, структуру миокарда как биологического композитного материала, при этом можно классифицировать как слоистую, состоящую из послойно чередующихся между собой волокнистых слоев, скрепленных между собой связующих элементов, а для удобства рассмотрения можно использовать квантифицированную трехмерную модель сердечной мышцы, выполненную Р. Н. М. Bovendeerd [6]. На этой модели хорошо видно, что миокард представляет собой слоистую структуру, в которой угол между волокнами, лежащими в соседних слоях, составляет меньше прямого. Такую укладку слоев в теории композитных материалов принято называть звездной, а композитные материалы, обладающие подобной структурой, относят к ортотропным (ортогонально анизотропным).

Так как размеры клеток, составляющих сердце, малы по сравнению с его размерами, а волокна, армирующие миокард и кардиомиоциты, формирующие его матрицу, одинаково ориентированы и однородны вдоль всех его мышечных слоев, то миокард может быть отнесен к квазигомогенным ортотропным композитным материалам.

Учитывая анизотропность миокарда как биологического композитного материала, при описании взаимосвязи его напряжения и деформации необходимо принимать во внимание тот факт, что величина деформаций будет зависеть не только от величины действующих напряжений, но и от направления их действия в сердечной мышце.

Выводы

С позиций биомеханики миокард является оптимально армированным анизотропным слоистым материалом, что обеспечивает его высокую циклическую прочность в условиях чрезвычайно большого числа сердечных сокращений. Реакция миокарда на нагрузку как анизотропного тела принципиально усложняется по сравнению с его реакцией как изотропного тела.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ашкенази, Е. К. Анизотропия конструкционных материалов / Е. К. Ашкенази, Э. В. Ганов. — М.: Машиностроение, 1980. — 247 с.
2. Биомеханика неоднородного миокарда / В. С. Мархасин [и др.]. — Екатеринбург: Изд-во УрО РАН, 1999. — 253 с.
3. Петров, И. Б. О численном моделировании биомеханических процессов в медицинской практике / И. Б. Петров // Информационные технологии и вычислительные системы. — 2003. — № 1–2. — С. 102–111.
4. Шилько, С. В. Метод определения *in vivo* вязкоупругих характеристик скелетных мышц / С. В. Шилько, Д. А. Черноус, К. К. Бондаренко // Российский журнал биомеханики. — 2006. — Т. 10. — № 4. — С. 47–55.
5. Фудзии, Т. Механика разрушения композиционных материалов: пер. с японск / Т. Фудзии, М. Дзако. — М.: Мир, 1962. — 232 с.
6. Dependence of local left ventricular wall mechanics on myocardial fiber orientation: a model study / Р. Н. М. Bovendeerd [at al.] // J. Biomechanics. — 1992. — Vol. 25. — № 10. — P. 1129–1140.