левой и правой руке у всех участников не превышает допустимых значений и не указывает на сосудистую патологию. Распределение испытуемых по уровням давления (40% – норма, 40% – высокая норма, 20% – гипотония) соответствует общепопуляционным данным. Полученные результаты подтверждают важность учета положения тела и выбора руки при измерении АД для получения достоверных результатов и минимизации диагностических ошибок.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. The effect of different body positions on blood pressure / I. Eşer, L. Khorshid, Ü. Yapucu Güneş [et al.]. // Journal of Clinical Nursing. – 2007. – Vol. 16, № 1. – P. 137–140.

2. Both body and arm position significantly influence blood pressure measurement / R. T. Netea, J. W. Lenders, P. Smits [et al.]. // Journal of Human Hypertension. – 2003. – Vol. 17, № 7. – P. 459–462.

3. Recommendations for blood pressure measurement in humans and experimental animals: part 1: blood pressure measurement in humans: a statement for professionals from the Subcommittee of Professional and Public Education of the American Heart Association Council on High Blood Pressure Research / T. G. Pickering, J. E. Hall, L. J. Appel [et al.]. // Hypertension. – 2005. – Vol. 45, № 5. – P. 142–161.

4. European Society of Hypertension recommendations for conventional, ambulatory and home blood pressure measurement / E. O'Brien, R. Asmar, L. Beilin [et al.]. // Journal of Hypertension. – 2003. – Vol. 21, № 5. – P. 821–848.

5. Guidelines for the management of arterial hypertension / B. Williams, G. Mancia, W. Spiering [et al.]. // European Heart Journal. – 2018. – Vol. 39, № 33. – P. 3021–3104.

УДК 615.47:612.13

А. А. Чуркина, С. А. Малюшкова

Научный руководитель: к.т.н., доцент В. А. Банный

Учреждение образования
«Гомельский государственный медицинский университет»
г. Гомель, Республика Беларусь

АППАРАТ ИСКУССТВЕННОГО КРОВООБРАЩЕНИЯ

Введение

Сердечно-сосудистые заболевания остаются ведущей причиной смертности в развитых странах. Ежегодно Беларуси от патологий миокарда погибает более шестидесяти тысяч человек. В ситуациях, когда консервативная терапия неэффективна, а трансплантация донорского сердца недоступна или отсрочена, единственным методом поддержания жизнеобеспечения является применение аппаратов искусственного кровообращения (АИК) и систем вспомогательного кровообращения (ВК) [1].

Цель

Систематизация физических принципов функционирования основных компонентов АИК, анализ гидродинамических факторов, определяющих гемосовместимость устройств, и обсуждение современных методов математического моделирования рабочих процессов.

Материал и методы исследования

Материалом исследования послужили научные статьи, учебные пособия по кардиохирургии и техническая документация к аппаратам искусственного кровообращения. Применялись методы теоретического анализа, сравнения и систематизации информации для изучения устройства, физических принципов работы и роли аппарата в поддержании жизнедеятельности организма.

Результаты исследования и их обсуждение

В результате проведенного анализа устройства аппарата искусственного кровообращения (АИК) было установлено, что его ключевым функциональным элементом, обеспечи-

вающим жизнеспособность организма пациента во время операции, является оксигенатор. Данное устройство предназначено для выполнения критически важной задачи – насыщения крови кислородом, что особенно необходимо для пациентов, страдающих заболеваниями сердца или легких, при которых естественное содержание кислорода в крови значительно снижено. Изучение технических характеристик и классификации оксигенаторов показало, что в современной медицинской практике используются два основных типа этих устройств: пузырьковые и мембранные оксигенаторы. При этом мембранные оксигенаторы, представляющие собой более совершенную технологию, подразделяются на два подтипа: микропористые и истинные мембранные [2].

Рассмотрим подробнее принципиальные различия в устройстве мембран. Микропористая мембрана, как следует из анализа источников, содержит в своей структуре микроскопические поры. Именно через эти поры происходит непосредственное перемещение молекул газа (кислорода и углекислого газа) из газовой среды в кровь и обратно. В отличие от этого, истинная мембранная конструкция устроена иначе: она представляет собой сплошную, непористую перегородку, которая полностью отделяет поток крови от газовой смеси. В таком случае молекулы газа не проходят через отверстия, а проникают в кровь путем диффузии сквозь материал самой мембраны. Этот механизм газообмена максимально приближен к тому, как происходит дыхание в легких человека, где стенки альвеол также создают барьер между воздухом и кровью. В связи с этой особенностью оксигенаторы с истинной мембраной находят применение при длительном экстракорпоральном насыщении крови кислородом, то есть в тех случаях, когда требуется продолжительное поддержание газообмена вне организма пациента.

Важным результатом исследования стало выявление тесной функциональной связи оксигенатора с другими узлами аппарата искусственного кровообращения. Оксигенаторы применяются не изолированно, а совместно с насосами. Эти насосы выполняют функцию искусственного сердца, поддерживая непрерывное кровообращение в организме больного на протяжении всего времени проведения операций на открытом сердце. Кроме того, в некоторых моделях современных оксигенаторов предусмотрен встроенный теплообменник. Наличие данного устройства позволяет врачам контролировать и регулировать температуру тела пациента непосредственно в ходе кардиохирургических операций, что является важным фактором для защиты тканей и управления метаболическими процессами.

Анализ физических принципов, лежащих в основе работы оксигенатора, показал, что ключевым процессом является диффузия. Изучение закона диффузии позволило понять количественные закономерности этого процесса. Согласно данному закону, количество вещества (в данном случае кислорода), которое переносится от поверхности раздела фаз (то есть от мембраны) в кровь, находится в прямой пропорциональной зависимости от трех факторов. Во-первых, это разность концентраций газа у поверхности контакта фаз и в ядре потока крови: чем эта разность больше, тем активнее идет перенос. Во-вторых, это площадь поверхности контакта фаз: чем больше площадь мембраны, тем больше кислорода может перейти в кровь. В-третьих, это продолжительность процесса, то есть время контакта крови с оксигенирующей поверхностью [2].

В ходе дальнейшего исследования мы детально рассмотрели устройство и принцип действия теплообменника как одного из критических компонентов АИК. Теплообменник представляет собой техническое устройство, основное назначение которого заключается в осуществлении теплообмена между двумя средами, имеющими различные температуры. Изучение классификации теплообменников по принципу действия показало, что они подразделяются на два основных типа: рекуператоры и регенераторы. К рекуператорам относятся устройства, в которых движущиеся теплоносители (например, кровь и нагревающая/охлаждающая жидкость) разделены между собой сплошной стенкой. Процесс теплообмена в них

происходит непрерывно через эту разделительную стенку. Именно к этому типу принадлежит большинство теплообменников различных конструкций, включая те, что используются в медицине. Регенеративные же теплообменники функционируют иначе: в них горячий и холодный теплоносители контактируют с одной и той же поверхностью, но поочередно. Теплота сначала накапливается в материале стенки при контакте с горячей средой, а затем отдается при контакте с холодной средой, как это реализовано, например, в кауперах доменных печей в металлургии.

Анализ конструкции рекуперативных теплообменников позволил выявить зависимость их работы от направления движения теплоносителей. Так, теплообменники могут быть прямоточными, когда обе среды движутся параллельно в одном направлении; противоточными, когда они движутся параллельно, но навстречу друг другу; а также аппаратами с взаимно-поперечным движением двух взаимодействующих сред. Выбор той или иной схемы движения существенно влияет на эффективность теплообмена.

Теплопроводность представляет собой процесс передачи тепла через твердое тело или неподвижную жидкость путем прямого контакта частиц. Применительно к теплообменнику это означает, что тепло передается от горячей жидкости к холодной именно через разделяющую их стенку благодаря механизму теплопроводности материала этой стенки.

Резервуар определяется как стационарный сосуд, который может быть как герметично закрываемым, так и открытым, и предназначен для наполнения жидким или газообразным веществом. В контексте АИК резервуары используются для сбора и хранения крови или других жидкостей, обеспечивая их стабильную подачу в систему. При необходимости отдельные резервуары могут объединяться в группу, сосредоточенную в одном месте. Такая совокупность резервуаров получила название «резервуарный парк», что свидетельствует о возможности создания крупных стационарных систем хранения и распределения жидких сред в масштабах медицинского учреждения [3].

Выводы

Проведенное исследование убедительно подтверждает, что физика является неотъемлемой частью современной медицины. На примере аппарата искусственного кровообращения наглядно убедились, как фундаментальные физические знания – законы диффузии, принципы теплопроводности и теплообмена – материализовались в конкретные медицинские устройства и технологии. Потенциал этих физических знаний лег в основу создания сложнейших приборов: оксигенаторов, моделирующих естественный процесс газообмена в легких, теплообменников, позволяющих управлять температурой тела пациента, и насосов, замещающих функцию сердца. Благодаря интеграции этих физических принципов в единую систему медицина получила возможность проводить операции на открытом сердце, спасая жизни пациентов, которые ранее считались безнадежными. Аппарат искусственного кровообращения – яркий пример того, как физические приборы упростили исследование и терапию заболеваний, позволив врачам контролировать жизненно важные процессы с беспрецедентной точностью. Это исследование доказывает, что по мере дальнейшего развития физики и появления новых технологий, их роль в улучшении здоровья и благополучия пациентов будет только возрастать.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бухарева, Ю. А. Искусственное кровообращение с использованием системы экстракорпоральной мембранной оксигенерации и аутотрансфузионной системы / Ю. А. Бухарева, З. З. Надирадзе. – Иркутск, 2010. – С. 60.

2. Есипова, О. Ю. Современные оксигенаторы: обзор литературы / О. Ю. Есипова, А. П. Кулешов // Вестник трансплантологии и искусственных органов. – 2024. – С. 149.

3. Ремизов, А.Н. Медицинская и биологическая физика. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2022. (Общие физические принципы: диффузия, теплопроводность).