

РЕСПУБЛИКАНСКОЕ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЕ УНИТАРНОЕ
ПРЕДПРИЯТИЕ «ИНСТИТУТ БИОХИМИИ БИОЛОГИЧЕСКИ АКТИВНЫХ
СОЕДИНЕНИЙ НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК БЕЛАРУСИ»

УДК [577.352:612.111]:796.071.2-056.22

МАРЦИНКЕВИЧ АЛЕКСАНДР ФРАНЦЕВИЧ

**СОСТАВ, ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА И
ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ МЕМБРАН ЭРИТРОЦИТОВ У
СПОРТСМЕНОВ ЦИКЛИЧЕСКИХ ВИДОВ СПОРТА**

**Автореферат диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук
по специальности 03.01.04 – биохимия**

Гродно, 2018

Работа выполнена в учреждении образования «Витебский государственный орден Дружбы народов медицинский университет»

Научный руководитель: **Осочук Сергей Стефанович**, доктор медицинских наук, профессор, заведующий НИЛ, профессор кафедры общей и клинической биохимии УО «Витебский государственный орден Дружбы народов медицинский университет»

Официальные оппоненты: **Чиркин Александр Александрович**, доктор биологических наук, профессор, профессор кафедры химии УО «Витебский государственный университет им. П. М. Машерова»

Шейбак Владимир Михайлович, доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры биологической химии УО «Гродненский государственный медицинский университет»

Оппонирующая организация: УО «Белорусский государственный университет»

Защита состоится 22 ноября 2018 года в 11.00 на заседании Совета по защите диссертации Д 01.30.01 при Республиканском научно-исследовательском унитарном предприятии «Институт биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси» по адресу: 230009, г. Гродно, бульвар Ленинского комсомола, 50; e-mail: office@bioch.bas-net.by, тел./факс: 8(0152) 43-41-21.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Республиканского научно-исследовательского унитарного предприятия «Институт биохимии биологически активных соединений НАН Беларуси»

Автореферат разослан «17» октября 2018 г.

Ученый секретарь совета
по защите диссертаций Д 01.30.01,
кандидат биологических наук



— Е.Е. Нарута

ВВЕДЕНИЕ

Активность доставки кислорода эритроцитами в ткани человека во многом определяет функционирование энергетических систем организма. Мембрана эритроцита является одним из ключевых участников массопереноса кислорода в ткани [И. И. Иванов, 2007] за счёт высокой динамичности изменения её состава и оказываемого влияния на деформируемость эритроцита [Болдырев А.А., 2006] как основного фактора его проникновения в микроциркуляторное русло. При высоких нагрузках, характерных для спорта, изменяются константные показатели внутренней среды организма, в частности, активная физическая деятельность приводит к значительному увеличению температуры тела [Maron M. B., 1977] и снижению рН крови за счёт накопления молочной кислоты, а также к росту активности свободнорадикального окисления [Balykin M. V., 2015]. Такие изменения предъявляют повышенные требования к составу и физико-химическим свойствам мембран эритроцитов, как факторам, определяющим интенсивность трансмембранного переноса кислорода и, в конечном счёте, работоспособность спортсмена. Согласно последним исследованиям, транспорт кислорода через мембрану эритроцита является активным процессом, который осуществляется при помощи аквапоринов [Титовец Э. П., 2011; Al-Samir S., 2016, Zwiazek J. J., 2017]. Известно, что активность трансмембранных белков определяется их липидным микроокружением [Lee A. G., 2004]. В свою очередь, липидный состав влияет на физико-химические свойства МЭ, определяющих скорость латеральной диффузии белков и активность реакции мембран на внешние воздействия [Lee A. G., 2003]. Необходимо также отметить сопряженность аннулярного липидного слоя (прибелковых липидов), влияющего на конформацию трансмембранных белков и, как следствие, на процесс переноса кислорода и общего липидного фонда, обновляющегося за счёт обмена с ЛПК [Lee A. G., 2004].

Таким образом, с высокой степенью уверенности можно утверждать, что существует прямая связь между эффективностью доставки кислорода к рабочим органам, составом и физико-химическими свойствами МЭ. Однако до настоящего времени в научных исследованиях молекулярных основ спортивной деятельности не уделялось должного внимания этой проблеме.

Сокращения: ЛПК – липопротеиновые комплексы, ЛПВП – липопротеины высокой плотности, ЛПНП – липопротеины низкой плотности, ЛПОНП – липопротеины очень низкой плотности, МВА, МВО – микровязкость аннулярного и общего липидного фонда, МПА и МПО – микрополярность аннулярного и общего липидного фонда, МЭ – мембрана эритроцита, ПНЖК – полиненасыщенные жирные кислоты, ПОЛ – перекисное окисление липидов, СФМ – сфингомиелины, ФХ – фосфатидилхолины, ФЭА – фосфатидилэтанол амины, ПГФ – полиглицерофосфатиды, ХС – холестерол, ТГ – триацилглицеролы

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами и темами

Диссертационная работа выполнялась в рамках проекта ГПНИ «Медицина и фармация» «Установить особенности функционирования МЭ спортсменов циклических видов спорта в зависимости от их обеспеченности эссенциальными жирными кислотами» (№ госрегистрации 20150753 от 03.06.2015).

Цель и задачи исследования

Целью работы является определение состава, физико-химических свойств мембран эритроцитов и липопротеиновых комплексов крови спортсменов циклических видов спорта¹ во взаимосвязи с функциональной активностью эритроцитов, а также влияния на указанные показатели пищевого режима.

Для достижения поставленной цели были определены следующие задачи:

1. Исследовать состав мембран эритроцитов (содержание белка, холестерина, общих фосфолипидов и их индивидуальных классов, спектр жирных кислот фосфатидилхолинов и сфингомиелинов) у спортсменов циклических видов спорта и лиц, не занимающихся спортом.

2. Исследовать физико-химические свойства мембран эритроцитов (микровязкость и микрополяриность, количество триптофанилов и битирозинов, конъюгатов лизина с продуктами ПОЛ) у спортсменов циклических видов спорта и лиц, не занимающихся спортом.

3. Исследовать активность отдачи кислорода эритроцитами венозной крови спортсменов циклических видов спорта и лиц, не занимающихся спортом.

4. Исследовать особенности липидтранспортной системы (содержание триацилглицеролов и холестерина, жирных кислот фосфатидилхолинов и сфингомиелинов, физико-химические свойства нативных липопротеиновых комплексов крови) у спортсменов циклических видов спорта и лиц, не занимающихся спортом.

5. Исследовать влияние приема льняного масла на физико-химические свойства мембран эритроцитов, липопротеиновых комплексов крови, клеток капиллярной крови и работоспособность спортсменов циклических видов спорта.

Объект и предмет исследования

Объектом исследования являются спортсмены циклических видов спорта разного уровня квалификации (I-й взрослый разряд, кандидаты в мастера спорта и мастера спорта), а также лица, не занимающиеся регулярными физическими нагрузками.

¹ Циклические виды спорта характеризуются многократным повторением законченных циклических движений. К циклическим видам спорта относятся бег на средние и длинные дистанции, марафон, биатлон, велогонки, триатлон, конькобежный спорт, гребля, плавание.

Предметом исследования является интенсивность отдачи кислорода эритроцитами, состав и физико-химические свойства мембран эритроцитов и липопротеиновых комплексов крови.

Научная новизна

Проведенные исследования показывают, что микровязкость аннулярного и общего липидного фондов МЭ спортсменов ниже, чем у лиц, не занимающихся спортом. Вместе с тем, МЭ спортсменов обладают в сравнении с лицами, не занимающимися спортом, повышенной микрополярностью в зоне аннулярного и общего липидного фондов МЭ. Также установлено статистически значимое повышение окислительной модификации белков МЭ спортсменов, сопряженное с повышением транспорта кислорода, что подтверждается согласованным ростом выявленных отличий с уровнем спортивного мастерства. В жирнокислотном профиле основных фосфолипидных классов МЭ у спортсменов показано увеличение количества ПНЖК. Показано влияние микровязкости и микрополярности мембран клеток капиллярной крови на интенсивность отдачи кислорода эритроцитами венозной крови. Выявлена взаимосвязь физико-химических свойств МЭ и ЛПК. Установлена взаимосвязь микрополярности аннулярного слоя МЭ и интенсивности отдачи ими кислорода. На основании полученных результатов сформулировано предположение о возможном негативном влиянии приема антиоксидантов на интенсивность отдачи кислорода эритроцитами венозной крови. Показано, что прием льняного масла приводит к понижению микровязкости и микрополярности МЭ, сопровождающегося у спортсменов увеличением работоспособности.

Положения, выносимые на защиту

1. Особенности состава мембран эритроцитов спортсменов обеспечивают увеличение их текучести, асимметрии и восприимчивость к перекисному окислению.
2. Микровязкость мембран эритроцитов у спортсменов циклических видов спорта снижена, а микрополярность повышена. Количество битирозинов и конъюгатов лизина с продуктами ПОЛ в мембранах эритроцитов у спортсменов больше, чем у лиц, не занимающихся спортом.
3. У спортсменов циклических видов спорта интенсивность отдачи кислорода эритроцитами венозной крови выше и ассоциирована с более высокой, чем у лиц, не занимающихся спортом, активностью окислительной модификации белков мембран эритроцитов.
4. Состав и физико-химические свойства липопротеиновых комплексов

крови спортсменов и лиц, не занимающихся спортом, имеют существенные отличия.

5. Прием пищевых продуктов, содержащих ω -3 полиненасыщенные жирные кислоты, увеличивает активность отдачи кислорода эритроцитами венозной крови и физическую работоспособность спортсменов.

Личный вклад соискателя

Научным руководителем была предложена тема диссертации, ее методологическое решение. Совместно с научным руководителем были сформулированы цель и задачи диссертации. Формирование групп спортсменов и лиц, не занимающихся спортом, забор биологического материала и исследование работоспособности проводилось при содействии сотрудников УЗ «Витебский областной диспансер спортивной медицины».

Автором осуществлена организация и проведение экспериментальных исследований на базе НИЛ УО «ВГМУ». Автором сформирована база экспериментальных данных, написана рукопись диссертации и автореферат. Теоретическое обобщение результатов, статистическая обработка данных с использованием современных статистических методов исследования и формулирование выводов выполнены автором самостоятельно. Отдельные этапы исследований проведены совместно с соавторами и представлены в опубликованных работах.

В публикациях [1, 2, 4, 6, 9–11, 14, 16, 18, 22–24] представлены результаты исследования состава, физико-химических свойств и функциональной активности МЭ у спортсменов и лиц, не занимающихся спортом. В публикации [12] описано влияние табакокурения на микровязкость МЭ. В публикации [13] представлены результаты изучения популяции эритроцитов у спортсменов циклических видов спорта. В публикациях [3, 7, 15, 20] представлены результаты исследования состава и физико-химических свойств ЛПК, а также их связь с липидным составом МЭ спортсменов и лиц, не занимающихся спортом. В публикации [5] описан метод оценки интенсивности отдачи кислорода эритроцитами венозной крови исходя из физико-химических свойств клеток капиллярной крови. В публикации [8] описан метод контроля дозы потребления эссенциальных жирных кислот у спортсменов циклических видов спорта. В публикациях [17, 19, 21, 25] описано влияние режима питания на состав и физико-химические свойства МЭ и ЛПК. По теме диссертации получен патент [26] и утверждены в Министерстве здравоохранения Республики Беларусь инструкции по применению [27, 28].

Апробация результатов диссертации

Основные результаты диссертационного исследования были представлены и обсуждены на Республиканской научно-практической конференции «Современные медицинские технологии в условиях регионального здравоохранения» (Пинск, 2012), на II Международной научно-практической конференции «Современные средства повышения физической работоспособности спортсменов» (Смоленск, 2012), на IV Международной научно-практической конференции «Экология. Здоровье. Спорт» (Чита, 2012), на 12 Международной научно-практической конференции «Студенческая медицинская наука XXI века» (Витебск, 2012), на Республиканской научно-практической конференции с международным участием «Микроциркуляция в кардиологии и клинике внутренних болезней» (Витебск, 2012), на 65-й итоговой научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Актуальные вопросы современной медицины и фармации» (Витебск, 2013), на V Международной научно-практической интернет-конференции «Состояние здоровья: медицинские, социальные и психолого-педагогические аспекты» (Чита, 2013), на 67-й итоговой научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Актуальные вопросы современной медицины и фармации» (Витебск, 2015), на XV международной научно-практической конференции «Студенческая медицинская наука XXI века» (Витебск, 2015), на Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых специалистов с международным участием «Биохимические научные чтения памяти академика РАН Е.А. Строева» (Рязань, 2016), на VII международной научно-практической интернет-конференции «Состояние здоровья: медицинские, социальные и психолого-педагогические аспекты» (Чита, 2016), на 68-й итоговой научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Актуальные вопросы современной медицины и фармации» (Витебск, 2016), на I-ом Белорусском Биохимическом Конгрессе «Современные проблемы биохимии» (Гродно, 2016), на XVI-ой международной конференции студентов и молодых ученых и I Форуме молодежных научных обществ (Витебск, 2016), на II-ой Республиканской научно-практической конференции (Витебск, 2016), на VIII Международной научно-практической интернет-конференции «Состояние здоровья: медицинские, социальные и психолого-педагогические аспекты» (Улан-Батор, 2017), на VII Международной научно-практической конференции «Экология. Здоровье. Спорт» (Чита, 2017).

Опубликование результатов диссертации

По теме диссертации опубликовано 28 научных работ, в том числе: 7 статей в научных журналах, включенных в перечень изданий, рекомендованных ВАК Республики Беларусь и соответствующих п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присуждении ученых званий в Республике Беларусь (1,9 авторских листа), 1 статья в научном журнале, не включенном в перечень изданий, рекомендованных ВАК Республики Беларусь и соответствующих п. 18 Положения о присуждении ученых степеней и присуждении ученых званий в Республике Беларусь, 17 материалов конференций, 1 патент на изобретение, 2 инструкции по применению. Общий объем публикаций составляет 3,2 авторских листа.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из перечня условных обозначений, введения, общей характеристики работы, шести глав, заключения, библиографического списка, включающего 213 наименований (в том числе 28 публикаций автора). Полный объем диссертации 158 страниц машинописного текста, в том числе 40 рисунков и 42 таблицы.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В аналитическом обзоре литературы представлен анализ доступных литературных данных, характеризующих современные представления о составе и физико-химических свойствах мембран эритроцитов у спортсменов циклических видов спорта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для исследования состава и физико-химических свойств МЭ спортсменов были сформированы группы спортсменов циклических видов спорта и лиц, не занимающихся регулярными физическими нагрузками.

Группа спортсменов включала в себя спортсменов циклических видов спорта с уровнем спортивной квалификации от 1-го взрослого разряда до мастера спорта. Группа лиц, не занимающихся спортом (группа сравнения), была сформирована из практически здоровых юношей и девушек в равном соотношении. Группы не отличались по возрасту и соотношению полов.

В исследовании активности переноса кислорода, состава и физико-химических свойств МЭ, а также липопротеиновых комплексов крови участвовало 42 спортсмена и 38 человек, не занимающихся регулярными физическими упражнениями. Исследование показателей активности отдачи кислорода, перекисного окисления липидов МЭ и окислительной модификации белков МЭ выполнено с участием 36 спортсменов и 15 человек контрольной группы. Иссле-

дование влияния питания, обогащенного нутриентами, проведено с участием 31 спортсмена, распределенного в опытную (26 человек) и контрольную (5 человек) группы.

Исследование влияния питания, обогащенного ω 3-полиненасыщенными жирными кислотами, на физико-химические свойства МЭ и работоспособность спортсменов циклических видов спорта выполнено с участием опытной группы спортсменов, принимавших льняное масло (14 человек) и спортсменов, служивших контрольной группой (8 человек). Группа лиц, не занимающихся спортом (группа сравнения) была сформирована из практически здоровых юношей и девушек в равном соотношении (21 человек).

Забор крови проводили из пальца (капиллярная кровь) и из вены натощак. Венозная кровь отбиралась в вакутайнеры с цитратом натрия и центрифугировалась при 1000 об/мин для выделения плазмы. Мембраны эритроцитов выделяли по методу Доджа [Dodge J., 1963] и стандартизовали по белку до концентрации 100 мкг/мл. Стандартизованные МЭ объемом 2 мл титровали пиреном в концентрации 1, 2, 4, 6, 8 и 10 мкмоль/л со снятием спектра флуоресценции на спектрофлуориметре SOLAR CM2203 (Республика Беларусь) при 286 и 337 нм. Интенсивность испускания мономеров и эксимеров пирена определяли в максимумах при 374, 394 и 470 нм.

Количество белка в мембранах эритроцитов определяли по методу Лоури [Lowry O.H., 1952], определение фосфолипидного профиля МЭ проводили двумерной тонкослойной хроматографией [Кейтс М., 1975] хлороформных экстрактов МЭ после их идентификации по R_f , минерализации и окрашивания реактивом Васьковского [Vaskovsky V. E., 1975]. Определение содержания общих фосфолипидов проводили после их минерализации по оптической плотности стандарта при длине волны 615 нм. Спектр жирных кислот основных фосфолипидных классов, выделенных в ходе тонкослойной хроматографии, определяли на газовом хроматографе Focus GC (США) с пламенно-ионизационным детектором и капиллярной колонкой ВРХ70, 60 м \times 0,25 мм, по времени удержания их стандартов (Sigma Aldrich). ХС экстрагировали из МЭ изопропиловым спиртом. Перешедший в экстракт общий холестерол определяли в реакции Златкиса-Зака.

Липопротеиновые комплексы крови выделяли методом последовательного ультрацентрифугирования в растворе бромида натрия [Щербаков И. А., 1981; Perkins E. C., 1975; Lindgren F. T., 1964] на ультрацентрифуге Beckman Optima LE80K с использованием ротора 50.4Ti. Физико-химические свойства ЛПК определяли аналогично мембранам эритроцитов.

Активность отдачи кислорода эритроцитами венозной крови определяли при помощи электрода Кларка на аппаратном комплексе Record4 (Россия).

Количество ХС и ТГ в ЛПК определяли ферментативными наборами фирмы Cormay-Diana (Республика Беларусь) с использованием полуавтоматического биохимического анализатора Screenmaster (Финляндия).

Для определения работоспособности использовали аппаратно-программный комплекс «Интеркард-4» с последующим расчетом показателя PWC-170.

Статистическую обработку данных проводили при помощи языка программирования R. Проверка на нормальность распределения выполнялась при помощи критерия Шапиро-Уилка. Парное сравнение исследуемых признаков производили при помощи t-критерия Стьюдента (при нормальном распределении) или при помощи W-критерия Вилкоксона. Множественное сравнение осуществляли с использованием H-критерия Краскела-Уоллиса.

Отличия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты собственных исследований

1. Исследование состава МЭ спортсменов и лиц, не занимающихся спортом

В ходе изучения состава МЭ было установлено статистически значимое ($p < 0,01$) повышение уровня ОФЛ у спортсменов.

У спортсменов содержание ФХ было достоверно выше, а фосфатидилэтаноламинов ниже ($p < 0,05$), чем у лиц, не занимающихся спортом. Оценка отношения количества СФМ к количеству ФХ, отражающего текучесть наружного слоя мембраны эритроцита, показала его снижение у спортсменов на 52,29 % ($p < 0,01$), что свидетельствует о более высокой текучести МЭ у спортсменов. Отношение $(СФМ+ФХ)/ФЭА$ может служить для оценки асимметричности бислоя липидов, т.к. производные СФМ и ФХ преимущественно локализованы на наружной стороне мембраны, в то время как ФЭА – на внутренней. У спортсменов отношение $(СФМ+ФХ)/ФЭА$ было статистически значимо выше ($p < 0,05$), что можно расценить как снижение асимметрии мембраны и ее переход в метастабильное состояние, свидетельствующее о напряжении систем адаптации. Сравнение процентного отношения фосфолипидных классов продемонстрировало, что у спортсменов доля ФХ, как и в предыдущем случае, была достоверно выше ($p < 0,05$), а СФМ ниже ($p < 0,01$), чем у лиц, не занимающихся спортом.

Количество ХС в мембранах эритроцитов у спортсменов и контрольной группы значимых отличий не имело ($p=0,8$), однако, количество ОФЛ было достоверно выше в группе спортсменов ($p < 0,05$), в то время как показатель ХС/ОФЛ снижался ($p < 0,01$).

В спектре жирных кислот СФМ и ФХ обнаружено снижение процентного содержания С14:0 и С16:0 в обоих фосфолипидных классах и С16:1 в ФХ

спортсменов, а также рост C18:3 в СФМ у спортсменов ($p < 0,05$). Отношение суммы насыщенных жирных кислот к сумме полиненасыщенных (в ФХ) у спортсменов было статистически значимо ниже ($p < 0,05$).

Указанные данные также свидетельствуют о более высокой текучести МЭ у спортсменов.

2. Исследование физико-химических свойства МЭ у спортсменов циклических видов спорта и лиц, не занимающихся спортом

В ходе исследования было установлено, что микровязкость приобелкового липидного окружения была статистически значимо меньше у спортсменов, причем данная закономерность сохранялась при всех концентрациях пирена. Микровязкость общего липидного фонда у спортсменов также была снижена по сравнению с контрольной группой. При исследовании отношения МВА к МВО найдено, что данный показатель не имел статистически значимых различий у спортсменов и лиц, не занимающихся спортом.

Сравнение микрополярности аннулярного и общего липидных фондов спортсменов и лиц, не занимающихся спортом, может указывать на более высокую активность перекисной модификации МЭ у спортсменов. Было выявлено, что при всех концентрациях пирена микрополярность аннулярного липидного слоя у спортсменов выше, чем у лиц, не занимающихся спортом.

Исследование интенсивности испускания триптофанилов показало, что у спортсменов этот показатель статистически значимо ниже, чем у лиц контрольной группы, что говорит о более высокой активности окислительной модификации белков МЭ спортсменов [Добрецов Г. Е., 1989].

Анализируя графическое представление уравнения Штерна-Фольмера, можно получить сведения о количестве доноров энергии, доступных для тушения, и о среднем расстоянии между донором и акцептором [Добрецов Г. Е., 1989]. Исследование доступности триптофанилов тушению, отражающее конформационные изменения белков, показало, что у спортсменов этот показатель был ниже, чем у лиц, не занимающихся спортом, что указывает на конформационные изменения белковой молекулы, препятствующие свободному переносу энергии с ароматического кольца триптофанилов на пирен.

Расстояние θ между поверхностью бислоя и донорами первого рода было достоверно выше в контрольной группе ($p < 0,05$), что говорит о погружении белковой молекулы в толщу мембраны у спортсменов. Учитывая снижение доступности тушения доноров первого рода и их неизменное количество, а также отличия θ , существует вероятность, что в мембранах эритроцитов спортсменов белок претерпевает внутримолекулярные, не затрагивающие внешние слои, конформационные перестройки.

Группы спортсменов были гетерогенны по уровню перекисной модификации белков МЭ в зависимости от их квалификации. По всем перечисленным показателям интенсивность перекисного окисления возрастала по мере увеличения спортивной квалификации. Окислительная модификация белковых молекул подтверждается достоверно ($p < 0,01$) более высокой флуоресценцией бити-розинов и конъюгатов лизина с продуктами ПОЛ (Лиз-ПОЛ) ($p < 0,01$) в группе спортсменов.

Анализ главных компонент на основании показателей окислительной модификации белков продемонстрировал разделение всей совокупности обследованных лиц на 4 достаточно четко очерченных кластера (рисунок 1).

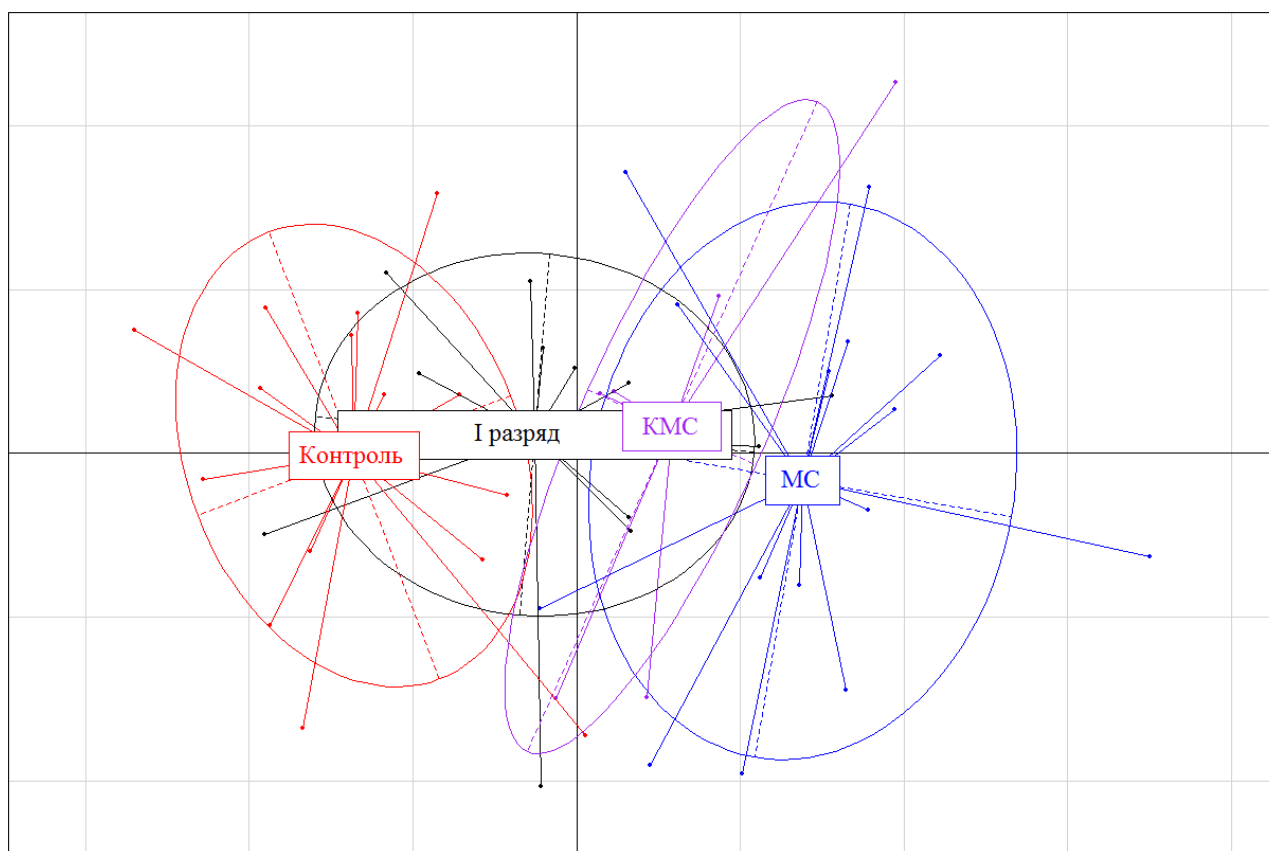


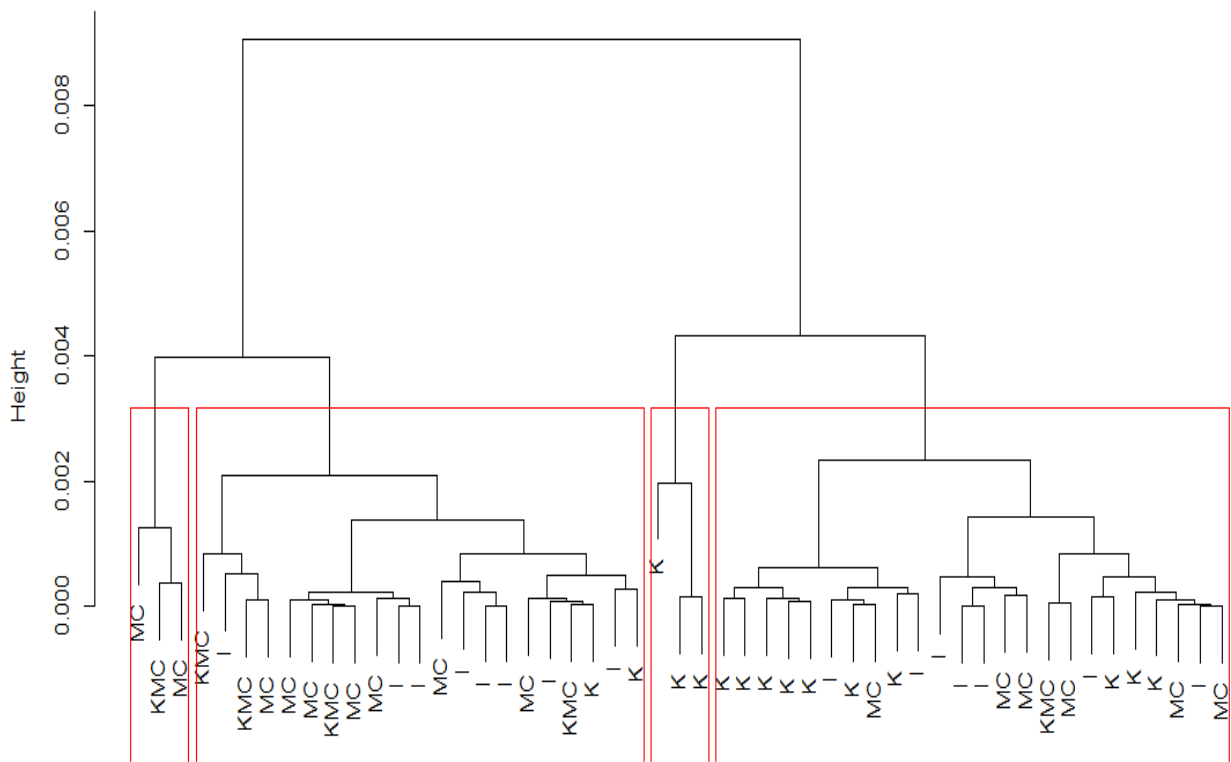
Рисунок 1. – Анализ главных компонент

Пересечение некоторых кластеров может быть объяснено различной физической подготовкой спортсменов в момент обследования. Вместе с тем, можно отметить однозначное разделение группы лиц, не занимающихся спортом, кандидатов в мастера, а также мастеров спорта.

Таким образом, исследование физико-химических свойств МЭ согласуются с представленными в предыдущем разделе данными о более высокой текучести МЭ спортсменов, а также указывают на неоднородность группы спортсменов в зависимости от уровня спортивного мастерства.

3. Активность отдачи кислорода эритроцитами венозной крови спортсменов и лиц, не занимающихся спортом

В результате исследования выявлено, что в группе спортсменов тангенс угла наклона кривой насыщения кислородом ячейки был достоверно больше ($p < 0,01$), чем в группе лиц, не занимающихся спортом, что свидетельствует о более высокой активности трансмембранного переноса кислорода у спортсменов. Несмотря на то, что спортсмены были гомогенны по уровню спортивного мастерства ($p = 0,45$), иерархическая кластеризация позволяет выделить четыре кластера, один из которых полностью сформирован спортсменами с квалификацией кандидат в мастера и мастер спорта, второй состоит из лиц контрольной группы, а оставшиеся два имеют практически равномерное распределение как спортсменов, так и лиц контрольной группы (рисунок 2).



Примечание: К – контрольная группа, I – спортсмены 1-го разряда, KMS – кандидаты в мастера спорта, MC – мастера спорта

Рисунок 2. – Иерархическая кластеризация спортсменов разного уровня квалификации и лиц контрольной группы по интенсивности отдачи кислорода эритроцитами венозной крови

Проведение регрессионного анализа позволило получить математическую модель для прогноза интенсивности отдачи кислорода эритроцитами венозной крови исходя из показателей физико-химических свойств клеток капиллярной крови. Анализ интенсивности отдачи кислорода при помощи кластерного анализа позволил выявить 3 основных кластера активности переноса кислорода от

эритроцитов. Для первого кластера (низкая активность переноса кислорода) диапазон значений интенсивности отдачи кислорода составил 0,001–0,009. Для второго кластера (умеренная активность переноса кислорода) диапазон значений составил 0,009–0,013. Для третьего кластера (высокая активность переноса кислорода) диапазон значений составил 0,013–0,017.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о более высокой активности переноса кислорода у спортсменов, а разработанная модель может позволить дозировать физическую нагрузку в зависимости от степени активности отдачи кислорода эритроцитами венозной крови.

4. Особенности липидтранспортной системы у спортсменов и лиц, не занимающихся спортом

В ходе изучения состава ЛПК установлено, что статистически значимые различия присутствуют в содержании ТГ ЛПВП, количество которых было ниже ($p < 0,01$) у спортсменов и составляло $0,014 \pm 0,030$ и $0,037 \pm 0,045$ ммоль/л в группах спортсменов и контроля соответственно.

Установлено, что у спортсменов микровязкость аннулярного и общего липидного фондов всех ЛПК была достоверно выше (таблица 1), чем у лиц, не занимающихся спортом.

Таблица 1. – Микровязкость аннулярного и общего липидного фондов липопротеинов различной плотности у спортсменов и лиц контрольной группы ($\bar{x} \pm \sigma$)

	ЛПВП					
	МВА1	МВА2	МВА4	МВО1	МВО2	МВО4
Спортсмены	51,64±11,60	37,55±10,7	24,1±8,72	34,0±5,57	26,53±7,2	18,01±6,3
Контроль	45,23±10,6	30,52±10,8	18,55±7,64	30,05±6,16	21,63±6,99	14,14±5,5
р-значение	0,035	0,012	0,014	0,009	0,008	0,013
	ЛПНП					
	МВА1	МВА2	МВА4	МВО1	МВО2	МВО4
Спортсмены	39,38±12,71	30,82±13,7	21,61±11,7	32,59±10,1	25,38±10,7	17,37±8,9
Контроль	33,89±14,21	25,08±13,8	16,53±11,9	26,93±9,93	20,53±10,5	13,35±9,2
р-значение	0,08	0,08	0,11	0,032	0,10	0,11
	ЛПОНП					
	МВА1	МВА2	МВА4	МВО1	МВО2	МВО4
Спортсмены	20,86±8,62	12,41±6,64	6,57±3,81	13,82±5,6	8,27±3,99	4,71±2,53
Контроль	11,12±6,94	6,14±4,36	3,12±2,35	17,58±43,3	4,27±2,87	2,28±1,6
р-значение	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001	< 0,001

Исследование микрополярности аннулярного и общего липидного фондов ЛПК показало его более высокие значения у спортсменов (таблица 2), что свидетельствует о введении в их состав гидрофильных радикалов (гидрокси- и оксо-группы), образующихся при активации ПОЛ [Гидулянова К. В., 2006].

Таблица 2. – Микрополяриность аннулярного и общего липидного фондов ЛПК у спортсменов и лиц контрольной группы ($\bar{x} \pm \sigma$)

	ЛПВП					
	МПА1	МПА2	МПА4	МПО1	МПО2	МПО4
Спортсмены	1,40±0,11	1,23±0,096	1,1±0,07	0,91±0,01	0,91±0,01	0,91±0,01
Контроль	1,32±0,12	1,16±0,09	1,06±0,06	0,91±0,01	0,91±0,01	0,9±0,0
р-значение	0,0078	0,0058	0,03	0,591	0,699	0,204
	ЛПНП					
	МПА1	МПА2	МПА4	МПО1	МПО2	МПО4
Спортсмены	1,26±0,19	1,11±0,16	1,01±0,11	0,88±0,02	0,87±0,01	0,87±0,01
Контроль	1,17±0,19	1,05±0,15	0,97±0,11	0,87±0,02	0,86±0,03	0,86±0,03
р-значение	0,060	0,113	0,036	0,006	0,52	0,45
	ЛПОНП					
	МПА1	МПА2	МПА4	МПО1	МПО2	МПО4
Спортсмены	1,21±0,14	1,07±0,13	0,98±0,09	0,87±0,04	0,86±0,04	0,85±0,05
Контроль	1,1±0,13	1,01±0,1	0,95±0,09	0,88±0,06	0,86±0,05	0,85±0,06
р-значение	0,004	0,053	0,081	0,253	0,266	0,603

Исследование корреляционных зависимостей между микровязкостью аннулярного и общего липидного фондов ЛПК и МЭ спортсменов и лиц контрольной группы показало наличие статистически значимой обратной связи между физико-химическими свойствами МЭ и ЛПВП (таблица 3), что указывает на возможность обновления мембранных липидов эритроцитов через обмен с ЛПВП.

Таблица 3. – Корреляционная матрица микровязкости аннулярного и общего липидного фондов ЛПК и МЭ

	ЛПВП ~ МЭ		ЛПНП ~ МЭ		ЛПОНП ~ МЭ	
	r	p	r	p	r	p
Спорт, МВА1	-0,3543	0,044	-0,1882	0,244	0,0310	0,881
Спорт, МВА2	-0,3305	0,061	-0,1355	0,403	-0,0044	0,984
Спорт, МВА4	-0,2607	0,143	-0,2238	0,165	-0,0830	0,686
Спорт, МВО1	-0,2687	0,130	-0,0478	0,769	0,0003	1,000
Спорт, МВО2	-0,2854	0,107	-0,1009	0,534	0,0051	0,981
Спорт, МВО4	-0,3533	0,044	-0,3366	0,034	-0,2581	0,202
Контроль, МВА1	-0,4926	0,011	-0,1577	0,350	0,0433	0,814
Контроль, МВА2	-0,4838	0,013	-0,1788	0,287	0,0066	0,972
Контроль, МВА4	-0,4489	0,022	-0,1761	0,296	-0,1213	0,507
Контроль, МВО1	-0,2991	0,138	-0,0948	0,575	-0,0158	0,932
Контроль, МВО2	-0,4065	0,040	-0,1155	0,495	-0,0803	0,661
Контроль, МВО4	-0,3538	0,077	-0,2224	0,185	-0,1720	0,347

У спортсменов микровязкость аннулярного и общего липидного фондов ЛПВП коррелировала с содержанием ХС ($r = 0,37-0,56$). Вероятно, отличия фи-

зико-химических свойств ЛПВП и их связь с ХС адапционно обусловлены более высокой скоростью его обмена у спортсменов. Микровязкость обоих фондов ЛПНП и ЛПОНП достоверно коррелирует с содержанием ХС у спортсменов и у лиц, не занимающихся спортом. Однако абсолютное значение коэффициента корреляции выше у спортсменов.

Корреляционный анализ выявил также отрицательную зависимость ($r = -0,35 - (-0,37)$) между содержанием стеариновой кислоты (С18:0) в СФМ МЭ и микровязкостью аннулярного липидного слоя ЛПВП спортсменов. Учитывая более высокую микровязкость общего и аннулярного липидных фондов ЛПВП спортсменов, можно предположить, что выявленный факт является одним из возможных механизмов ограничения поступления насыщенных жирных кислот (НЖК) в аннулярный слой МЭ. Также обнаружена положительная ($r = 0,35 - 0,39$) зависимость между содержанием линоленовой кислоты (С18:3) и микровязкостью аннулярного и общего липидных фондов ЛПВП, что подтверждает предложенную выше гипотезу о механизмах поставки ПНЖК в мембраны эритроцитов и говорит о предположительно повышенной поставке ПНЖК в общий и аннулярный фонд МЭ спортсменов. У лиц, не занимающихся спортом, отмечены иные корреляционные взаимосвязи. Была выявлена положительная зависимость ($r = 0,39$) между содержанием олеиновой кислоты (С18:1) в ФХ и микровязкостью аннулярного липидного слоя ЛПВП, а также между количеством пальмитолеиновой кислоты (С16:1) в ФХ ($r = 0,40$) и микровязкостью общего липидного фонда ЛПВП. Вероятно, у лиц, не занимающихся спортом, количество МНЖК и НЖК в МЭ лимитируется более низкой, чем у спортсменов, микровязкостью липидных фондов ЛПВП.

Микровязкость общего липидного фонда ЛПНП спортсменов прямо коррелировала с содержанием линоленовой (С18:3) кислоты в ФХ. В контрольной группе обнаружены прямые взаимосвязи между содержанием пальмитолеиновой (С16:1) и линолевой (С18:2) кислот в СФМ ($r = 0,35$ и $0,33 - 0,34$) и микровязкостью аннулярного липидного слоя ЛПНП. Содержание эйкозопентаеновой кислоты (С20:5) в СФМ МЭ прямо коррелировало с микровязкостью аннулярных липидов ($r = 0,40 - 0,42$) и общего липидного фонда ($r = 0,38 - 0,39$) ЛПНП. Количество олеиновой (С18:1) кислоты в ФХ МЭ коррелировало только с микровязкостью общего липида ($r = 0,33 - 0,37$) ЛПНП. Вероятно, обновление жирнокислотного спектра ФХ МЭ спортсменов взаимосвязано с микровязкостью ЛПВП и ЛПНП по ПНЖК, а также СФМ по НЖК. В контрольной группе обновление жирнокислотного спектра СФМ МЭ связано с микровязкостью ЛПНП через жирные кислоты вне зависимости от их насыщенности. Жирнокислотный спектр ФХ МЭ лиц, не занимающихся спортом, коррелирует с микровязкостью ЛПНП лишь по олеиновой (С18:1) кислоте.

Таким образом, выявленные отличия свидетельствуют о значительной вовлеченности ЛПК спортсменов во взаимодействие с МЭ, что может позволить корректировать активность отдачи кислорода посредством изменения пищевого режима.

5. Влияние пищевого режима на интенсивность отдачи кислорода эритроцитами венозной крови, физическую работоспособность спортсменов, состав и физико-химические свойства МЭ

Исследование влияния пищевого режима на интенсивность отдачи кислорода эритроцитами венозной крови показало, что после 30 дней приема льняного масла интенсивность отдачи кислорода у спортсменов статистически значимо ($p < 0,05$) была выше, чем в контрольной группе (таблица 4).

Таблица 4. – Интенсивность отдачи кислорода эритроцитами венозной крови, Me (Q¹; Q³)

	До начала приема	15 дней приема	30 дней приема	P
Эксперимент спортсмены	0,907 (0,8844; 0,9317)	1,043 (1,02; 1,085)	1,049 (1,018; 1,064)	< 0,001
Контроль спортсмены	0,919 (0,8967; 0,9303)	0,927 (0,9191; 0,9446)	0,932 (0,9038; 0,9477)	0,5512
Объединенная группа спортсменов	0,917 (0,885; 0,932)	–	–	0,0147
Контроль не спортсмены	0,879 (0,7942; 0,9128)	1,027 (0,9229; 1,049)	0,980 (0,9463; 1,036)	0,04852

Исследование PWC-170 показало рост физической работоспособности у спортсменов, принимавших льняное масло в течение 15 дней на 42,62 % ($p=0,034$) в сравнении с контрольной группой. Так, работоспособность у опытной группы была равна $1534,96 \pm 356,72$ кгм/мин, в то время как у спортсменов, не принимавших льняное масло, работоспособность составила $1076,19 \pm 90,00$ кгм/мин.

Прием льняного масла у спортсменов уже через 15 дней статистически значимо снижает микровязкость и микрополярность МЭ в обоих липидных фондах при концентрациях пирена в диапазоне 1-4 мкмоль/л. Через 30 дней приема льняного масла микровязкость и микрополярность оставались неизменно ниже по сравнению с исходными значениями. В контрольной группе спортсменов, не принимавшей льняное масло, физико-химические свойства МЭ не изменялись во все сроки исследования. У лиц, не занимавшихся спортом, льняное масло, как и у спортсменов, статистически значимо увеличивало текучесть мембран и микрополярность.

Было показано, что прием льняного масла как в группе спортсменов, так и в группе лиц, не занимающихся спортом, оказывает статистически значимое

повышение олеиновой, линолевой, линоленовой и арахидоновой кислот в составе СФМ МЭ. Исследование влияния приема льняного масла на спектр жирных кислот ФХ показало статистически значимое повышение содержания пальмитиновой, олеиновой, линолевой, линоленовой и арахидоновой кислот в их составе у спортсменов.

Через 15 дней приема льняного масла у спортсменов увеличивалось количество основных фосфолипидных классов, формирующих мембраны – ФХ и ФЭА. Через 30 дней приема льняного масла дополнительно к выявленным изменениям отмечено снижение содержания СФМ. Учитывая, что ФХ и ФЭА являются главными компонентами общего липидного фонда, а СФМ формирует прибрежный липидный слой, можно предположить, что эти изменения обуславливают описанные ранее изменения физико-химических свойств МЭ и способны оказать значительное влияние на функциональную активность МЭ. Физическая нагрузка без приема льняного масла имела отличия во влиянии на спектр фосфолипидов.

У спортсменов, не принимавших льняное масло, через 15 дней от начала эксперимента отличий в фосфолипидном спектре не выявлено. Через 30 дней отмечено статистически значимое увеличение количеств ФХ и ПГФ, что, вероятно, является следствием тренировочного процесса.

Таким образом, прием льняного масла улучшает активность переноса кислорода, вероятно, за счет снижения функциональной недостаточности эссенциальных ПНЖК.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Количество общих фосфолипидов в мембранах эритроцитов спортсменов выше, чем у лиц, не занимающихся спортом (184,99 (176,43; 198,48) ммоль/л и 29,89 (25,25; 68,77) ммоль/л соответственно, $p < 0,01$). Отношение ХС/ОФЛ $\times 10^5$ в мембранах эритроцитов спортсменов ниже, чем у лиц, не занимающихся спортом (7,57 (6,72; 9,46) и 39,78 (23,00; 82,11) соответственно, $p < 0,01$). У спортсменов количество ФХ в мембранах эритроцитов на 85,82 % выше ($p < 0,01$), а количество ФЭА на 6,5 % ниже ($p < 0,05$), чем у лиц, не занимающихся спортом. Отношение СФМ/ФХ у спортсменов на 52,3 % ниже ($p < 0,01$), а отношение (СФМ+ФХ)/ФЭА на 17,6 % выше ($p < 0,05$), чем у лиц, не занимающихся спортом. В спектре жирных кислот СФМ и ФХ снижено процентное содержание С14:0 и С16:0 в обоих фосфолипидных классах ($p < 0,05$) и С16:1 в фосфатидилхолинах спортсменов ($p < 0,01$), а также увеличено содержание С18:3n3 в сфингомиелинах у спортсменов ($p < 0,05$). Отношение суммы ПНЖК к сумме НЖК в ФХ у спортсменов на 71,3 % выше ($p < 0,05$) [4, 23, 25].

2. У спортсменов циклических видов спорта микровязкость аннулярного и общего липидных фондов мембраны эритроцитов на 14,7–14,8 %* ($p < 0,05$) и 13,5–17,6 %* ($p < 0,05$) ниже соответственно, а микрополярность аннулярного и общего липидных фондов мембраны эритроцитов на 15,5–17,2 %* ($p < 0,05$) и 17,1–24,6 %* ($p < 0,05$) выше соответственно, чем у лиц, не занимающихся спортом [1, 2, 9–14, 17]. Количество битирозинов и конъюгатов лизина с продуктами ПОЛ в мембранах эритроцитов спортсменов на 19,2 % ($p < 0,05$) и 67,1 % ($p < 0,05$) больше соответственно в сравнении с лицами контрольной группы [6, 16, 22, 24].

3. У спортсменов интенсивность отдачи кислорода эритроцитами венозной крови составляет $10,19 \times 10^{-3}$ отн. ед., что на 40,0 % выше ($p < 0,01$), чем у лиц, не занимающихся спортом ($7,27 \times 10^{-3}$ отн. ед.). Также у спортсменов обнаружена прямая корреляционная связь между интенсивностью отдачи кислорода эритроцитами венозной крови и микрополярностью их мембран как в зоне прибелкового липидного окружения, так и в общем липидном фонде (коэффициент корреляции соответственно 0,35–0,39* и 0,34–0,40*, $p < 0,05$) [5, 18].

4. Содержание ТГ ЛПВП у спортсменов ниже в сравнении с лицами контрольной группы ($0,014 \pm 0,028$ и $0,037 \pm 0,045$ ммоль/л, $p = 0,003$). Микровязкость ЛПВП (на 14,16–29,89 %** для аннулярного и на 13,15–27,33 %** для общего липидного фондов, $p < 0,05$) и ЛПОНП (на 87,5–110,6 %** для аннулярного

* в диапазоне концентраций пирена от 1 до 10 мкмоль/л.

** в диапазоне концентраций пирена от 1 до 4 мкмоль/л.

и на 93,5–106,2 % ** для общего липидного фондов, $p < 0,05$) спортсменов выше, а прямая корреляционная зависимость микровязкости ЛПВП и ЛПНП с содержанием холестерина носит более выраженный характер, чем у лиц, не занимающихся спортом (коэффициенты корреляции для ЛПВП спортсменов 0,38–0,57**, $p < 0,05$, у лиц контрольной группы статистически значимых зависимостей не обнаружено; для ЛПНП спортсменов 0,44–0,64**, $p < 0,05$ и 0,33–0,49**, $p < 0,05$ у лиц контрольной группы). Микрополярность аннулярного и общего липидного фондов ЛПВП, ЛПНП и ЛПОНП у спортсменов выше (на 3,8–5,9 % **, 1,5–4,6 % ** и 9,5 % соответственно, $p < 0,05$), чем у лиц, не занимающихся спортом [3, 7, 15, 20].

5. Прием льняного масла увеличивает активность отдачи кислорода эритроцитами венозной крови и повышает физическую работоспособность спортсменов в испытании на велоэргометре на 42,62 % ($p = 0,034$) [8, 19, 21].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Исследование физико-химических свойств клеток капиллярной крови позволило разработать и утвердить в Министерстве здравоохранения инструкцию по применению «Метод оценки активности отдачи кислорода эритроцитами спортсменов циклических видов спорта» № 087-0914 от 14 октября 2014 г. Указанный метод рекомендован к использованию врачами спортивных команд и спортивных диспансеров с целью профилактики спортивного травматизма и прогнозирования физической работоспособности спортсменов [27].

2. Исследование жирнокислотного профиля мембран эритроцитов позволило разработать и утвердить в Министерстве здравоохранения инструкцию по применению «Метод вторичной медицинской профилактики ишемической болезни сердца» №011-0317 от 14 апреля 2017 г. Указанный метод рекомендован к использованию врачам-кардиологам, врачам клинической лабораторной диагностики, врачам-терапевтам, иным специалистам организаций здравоохранения, оказывающим медицинскую помощь пациентам кардиологического профиля [28].

3. Результаты исследования влияния приема ПНЖК на активность отдачи кислорода эритроцитами могут быть использованы для коррекции трансмембранного переноса кислорода и, соответственно, физической работоспособности спортсменов циклических видов спорта (получен патент на изобретение № 21844 от 9 января 2018 г. «Способ увеличения активности отдачи кислорода эритроцитами у спортсменов циклических видов спорта»). Метод может быть рекомендован для применения в организованных коллективах спортсменов для улучшения спортивных показателей [26].

4. Материалы диссертационного исследования внедрены в учебный процесс на кафедре общей и клинической биохимии, а также на кафедре патологической физиологии УО «Витебский государственный медицинский университет». Эти данные рекомендуются к более широкому использованию в учебном процессе учреждений образования Министерства здравоохранения Республики Беларусь и при проведении научных исследований.

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в научных журналах

1. Физико-химические свойства мембран эритроцитов спортсменов циклических видов спорта / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич // Вестник Витебского государственного медицинского университета : ежеквартальный научно-практический журнал. – 2013. – Т. 12, № 3. – С. 25–31.
2. Осочук, С. С. Физико-химические свойства и состав мембран эритроцитов спортсменов различной квалификации / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич // Лабораторная диагностика Восточная Европа. – 2013. – № 4. – С. 65–70.
3. Осочук, С. С. Состав, физико-химические свойства липопротеиновых комплексов крови и спектр жирных кислот некоторых фосфолипидов мембран эритроцитов спортсменов циклических видов спорта / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич // Проблемы здоровья и экологии. – 2014. – № 1. – С. 118–123.
4. Осочук, С. С. Липидный состав мембран эритроцитов у спортсменов циклических видов спорта / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич // Клиническая лабораторная диагностика. – 2014. – № 5. – С. 17–20.
5. Осочук, С. С. Метод определения интенсивности отдачи кислорода эритроцитами спортсменов циклических видов спорта / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич // Лабораторная диагностика Восточная Европа. – 2014. – № 3. – С. 40–46.
6. Осочук, С. С. Окислительная модификация белков и липидов мембран эритроцитов спортсменов циклических видов спорта / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич // Вестник БГУ. Серия 2. – 2015. – № 2. – С. 47–52.
7. Осочук, С. С. Физико-химические свойства мембран эритроцитов и липопротеинов высокой плотности спортсменов циклических видов спорта / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич, А. С. Осочук // Прикладная спортивная наука. – 2016. – № 3. – С. 84–89.
8. Осочук, С. С. Метод контроля дозы потребления эссенциальных жирных кислот у спортсменов циклических видов спорта / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич // Прикладная спортивная наука. – 2016. – № 6. – С. 48–52.

Материалы и тезисы конференций

9. Марцинкевич, А. Ф. Воздействие регулярных физических нагрузок на физико-химические свойства мембран эритроцитов / А. Ф. Марцинкевич, С. С. Осочук // Современные медицинские технологии в условиях регионального здравоохранения: сборник статей республиканской научно-практической конференции, УО «Полесский государственный университет», г. Пинск, 05 ок-

тября 2012 г. / Национальный банк Республики Беларусь [и др.]; редкол.: К.К. Шебеко [и др.]. – Пинск: ПолесГУ, 2012. – 210 с.

10. Осочук, С. С. Идентификация спортсменов по физико-химическим параметрам мембран эритроцитов / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич // Сборник материалов II Международной научно-практической конференции «Современные средства повышения физической работоспособности спортсменов» 11-12 октября 2012 г. Смоленск / под ред. Г.Н. Греца, Т.М. Брук – Смоленск, СГАФКСТ, 2012. – 240 с.

11. Марцинкевич, А. Ф. Особенности физико-химических свойств мембран эритроцитов спортсменов / А. Ф. Марцинкевич, С. С. Осочук // Экология. Здоровье. Спорт: материалы IV Междунар. научно-практ. конф. – Чита: ЗабГУ, 2012. – 381 с.

12. Марцинкевич, А. Ф. Влияние табакокурения на микровязкость мембран эритроцитов / А. Ф. Марцинкевич // Студенческая медицинская наука XXI века : материалы 12 междунар. науч.-практ. конф. – Витебск, 2012. – С. 78–79.

13. Марцинкевич, А. Ф. Особенности популяции эритроцитов у спортсменов циклических видов спорта / А. Ф. Марцинкевич, С. С. Осочук, Д. Н. Федотов // Микроциркуляция в кардиологии и клинике внутренних болезней: материалы Республиканской научно-практической конференции с международным участием. – Витебск: ВГМУ, 2012. – С. 124–126.

14. Осочук, С. С. Отношение микровязкостей аннулярного и общего липидного фонда как константный показатель функционального состояния мембраны эритроцита / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич // Состояние здоровья: медицинские, социальные и психолого-педагогические аспекты. Материалы V Международной научно-практической интернет конференции 22-28 апреля – Чита: ЗабГУ, 2013. – С. 330–334.

15. Осочук, С. С. Особенности состава липопротеиновых комплексов спортсменов / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич // Материалы 65-й итоговой научно-практической конференции студентов и молодых ученых «Актуальные вопросы современной медицины и фармации». – Витебск: ВГМУ, 2013. – С. 156–157.

16. Осочук, А. С. Окислительная модификация белков мембран эритроцитов у спортсменов разного уровня квалификации / А. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич // Актуальные вопросы современной медицины и фармации. Материалы 67-й итоговой научно-практической конференции студентов и молодых ученых. – Витебск: ВГМУ, 2015. – С. 741–743.

17. Марцинкевич, А. Ф. Влияние питания обогащенного нутриентами на состав и физико-химические свойства мембран клеток капиллярной крови спортсменов / А. Ф. Марцинкевич, А. С. Осочук // Студенческая медицинская

наука XXI века : материалы XV международной научно-практической конференции. – Витебск: ВГМУ, 2015. – С. 262–264.

18. Марцинкевич, А. Ф. Функциональная взаимосвязь активности транспорта кислорода и окислительной модификации белков и липидов мембран эритроцитов у спортсменов циклических видов спорта / А. Ф. Марцинкевич, А. С. Осочук // Биохимические научные чтения памяти академика РАН Е.А. Строева: материалы Всероссийской научно-практической конференции студентов и молодых специалистов с международным участием / редкол.: И.В. Матвеева, В.И. Звягина, М.А. Фомина, В.В. Давыдов; ГБОУ ВПО РязГМУ Минздрава России. – Рязань: РИО РязГМУ, 2016. – С. 136–139.

19. Осочук, С. С. Увеличение работоспособности спортсменов циклических видов спорта льняным маслом / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич, М. П. Королевич // Состояние здоровья: медицинские, социальные и психолого-педагогические аспекты : VII Междунар. науч.-практ. интернет-конференция / Забайкал. гос. ун-т; отв. ред. С.Т. Кохан. – Чита : Забайкал. гос. ун-т, 2016. – С. 315–320.

20. Марцинкевич, А. Ф. Взаимосвязь физико-химических свойств мембран эритроцитов и липопротеинов высокой плотности у спортсменов циклических видов спорта / А. Ф. Марцинкевич, А. С. Осочук // Актуальные вопросы современной медицины и фармации. Материалы 68-й итоговой научно-практической конференции студентов и молодых ученых. – Витебск : ВГМУ, 2016. – С. 342–344.

21. Осочук, С. С. Влияние ω 3-полиненасыщенных жирных кислот на физико-химические свойства мембран эритроцитов и работоспособность спортсменов циклических видов спорта / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич, А. С. Осочук // Современные проблемы биохимии= Current problems in biochemistry : сб, науч. ст. / НАН Беларуси [и др.]; редкол.: Л.И. Надольник (гл. ред.) и [и др.]. – Гродно: ЮрСаПринт, 2016. – Ч. 1. – С. 256–260.

22. Марцинкевич, А. Ф. Высокая активность перекисной модификации мембран эритроцитов интегральный показатель лиц, занимающихся спортом / А. Ф. Марцинкевич, А. С. Осочук // Студенческая медицинская наука XXI века и I Форум молодежных научных обществ : материалы XVI-й международной конференции студентов и молодых ученых и I Форума молодежных научных обществ. – Витебск: ВГМУ, 2016. – С. 76-77.

23. Осочук, С. С. Взаимосвязь жирных кислот мембран эритроцитов спортсменов циклических видов спорта / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич, А. С. Осочук // Здоровье и спорт: состояние, проблемы, перспективы: материалы II Республиканской научно-практической конференции. – Витебск: ВГМУ, 2016. – С. 27–30.

24. Осочук, С. С. Некоторые механизмы регуляции жидкостности мембран эритроцитов спортсменов циклических видов спорта / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич, А. С. Осочук // Состояние здоровья: медицинские, социальные и психолого-педагогические аспекты: VIII Междунар. науч.-практ. интернет-конференция / МНУМН; отв. ред. Сугармаа Мягмаржав. – Улан-Батор: МНУМН, 2017. – С. 245–234.

25. Осочук, С. С. Влияние приема полиненасыщенных жирных кислот на фосфолипидный профиль мембран эритроцитов спортсменов циклических видов спорта / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич, А. С. Осочук // Экология. Здоровье. Спорт: сборник науч. статей VII Международной науч.-практ. конф. / Забайкал. гос. ун-т. – Чита, 2017. – С. 662–668.

Патенты на изобретения

26. Способ повышения выносливости и работоспособности организма спортсмена циклического вида спорта : пат. 21844 Респ. Беларусь : МПК А 61К 36/55 (2006.01) / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич ; Опубл. 09.01.2018.

Инструкции по применению

27. Метод оценки интенсивности отдачи кислорода эритроцитами спортсменов циклических видов спорта: инструкция по применению № 087-0914 : утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 17.10.2014 / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич, И. Н. Деркач, М. П. Морозов. – Витебск : ВГМУ, 2014. – 5 с.

28. Метод вторичной медицинской профилактики ишемической болезни сердца: инструкция по применению № 011-0317 : утв. М-вом здравоохранения Респ. Беларусь 14.04.2017 / С. С. Осочук, А. Ф. Марцинкевич, И. Н. Деркач, М. П. Морозов. – Витебск : ВГМУ, 2017. – 5 с.

РЭЗІЮМЭ

Марцінкевіч Аляксандр Францавіч

Склад, фізіка-хімічныя ўласцівасці і функцыянальная актыўнасць мембран эрытрацытаў у спартсменаў цыклічных відаў спорту

Ключавыя словы: мембрана эрытрацыту, спорт, ліпіды, ПАЛ.

Мэта работы: вызначыць склад, фізіка-хімічныя ўласцівасці мембран эрытрацытаў і ліпапратэінавых комплексаў крыві спартсменаў цыклічных відаў спорту ва ўзаемасувязі з функцыянальнай актыўнасцю эрытрацытаў, а таксама ўплыву на названыя паказчыкі харчовага рэжыму.

Метады даследавання: біяхімічныя, статыстычныя.

Атрыманыя вынікі і іх навуковая навізна: Праведзеныя даследаванні паказваюць, што мікравязкасць аннулярнага і агульнага ліпіднага фондаў мембран эрытрацытаў спартсменаў ніжэй, чым у асоб, якія не займаюцца спортам. Разам з тым, мембраны эрытрацытаў спартсменаў валодаюць у параўнанні з асобамі, якія не займаюцца спортам, павышанай мікрапалярнасцю ў зоне аннулярнага і агульнага ліпіднага фондаў мембраны эрытрацытаў. Таксама ўстаноўлена статыстычна значнае павышэнне акісляльнай мадыфікацыі бялкоў мембран эрытрацытаў спартсменаў, спалучанае, верагодна, з інтэнсіўным транспартам кіслароду, што пацвярджаецца ўзгодненым ростам выяўленых адрозненняў з узроўнем спартыўнага майстэрства. Атрыманы звесткі аб тлушчакіслотным профілі асноўных фосфаліпідаў мембран эрытрацытаў, паказана павелічэнне колькасці ПНТК. Вызначаны ўплыў фізіка-хімічных уласцівасцяў мембран клетак капілярнай крыві на інтэнсіўнасць аддачы кіслароду эрытрацытамі вянознай крыві. Усталявана ўзаемасувязь фізіка-хімічных уласцівасцяў мембран эрытрацытаў і ЛПК, што дазваляе праводзіць фармакалагічную і дыетычную карэкцыю ліпіднага і тлушчакіслотнага складу мембран эрытрацытаў. Паказана ўзаемасувязь мікрапалярнасці аннулярнага пласта мембран эрытрацытаў і інтэнсіўнасці аддачы кіслароду. На падставе мадэльных дадзеных выказана здагадка негатыўнага ўплыву прыёма антыаксідантаў на інтэнсіўнасць аддачы кіслароду эрытрацытамі вянознай крыві. Паказана, што прыём льнянога алею прыводзіць да паніжэння мікравязкасці і мікрапалярнасці мембран эрытрацытаў, што ў спартсменаў суправаджаецца павелічэннем працаздольнасці.

Выкарыстанне вынікаў: у спартыўнай медыцыне для карэкцыі ліпіднага складу мембран эрытрацытаў спартсменаў з мэтай аптымізацыі кіслародтранспартнай функцыі крыві і працаздольнасці.

Вобласць прымянення: навучальныя курсы па біяхіміі, нармальнай і паталагічнай фізіялогіі, спартыўнай медыцыне.

РЕЗЮМЕ

Марцинкевич Александр Францевич

Состав, физико-химические свойства и функциональная активность мембран эритроцитов у спортсменов циклических видов спорта

Ключевые слова: мембрана эритроцита, спорт, липиды, ПОЛ.

Цель работы: определить состав, физико-химические свойства мембран эритроцитов и липопротеиновых комплексов крови спортсменов циклических видов спорта во взаимосвязи с функциональной активностью эритроцитов, а также влияние на указанные показатели пищевого режима.

Методы исследования: биохимические, статистические.

Полученные результаты и их научная новизна: Проведенные исследования показывают, что микровязкость аннулярного и общего липидного фондов мембран эритроцитов спортсменов ниже, чем у лиц, не занимающихся спортом. Вместе с тем, мембраны эритроцитов спортсменов обладают в сравнении с лицами, не занимающимися спортом, повышенной микрополярностью в зоне аннулярного и общего липидного фондов мембраны эритроцитов. Также установлено статистически значимое повышение окислительной модификации белков мембран эритроцитов спортсменов, сопряженное, вероятно, с интенсивным транспортом кислорода, что подтверждается согласованным ростом выявленных отличий с уровнем спортивного мастерства. Получены сведения о жирнокислотном профиле основных фосфолипидов мембран эритроцитов, показано увеличение количества ПНЖК. Определено влияние физико-химических свойств мембран клеток капиллярной крови на интенсивность отдачи кислорода эритроцитами венозной крови. Установлена взаимосвязь физико-химических свойств мембран эритроцитов и ЛПК, что позволяет проводить фармакологическую и диетологическую коррекцию липидного и жирнокислотного состава мембран эритроцитов. Показана взаимосвязь микрополярности аннулярного слоя мембран эритроцитов и интенсивности отдачи кислорода. На основании модельных данных предположено негативное влияние приемов антиоксидантов на интенсивность отдачи кислорода эритроцитами венозной крови. Показано, что прием льняного масла приводит к понижению микровязкости и микрополярности мембран эритроцитов, что у спортсменов сопровождается увеличением работоспособности.

Использование результатов: в спортивной медицине для коррекции липидного состава мембран эритроцитов спортсменов с целью оптимизации кислородтранспортной функции крови и работоспособности.

Область применения: учебные курсы по биохимии, нормальной и патологической физиологии, спортивной медицине.

SUMMARY

Martsinkevich Aliaksandr Francevich

Composition, physicochemical properties and functional activity of erythrocyte membranes in cyclical sportsmen

Keywords: erythrocyte membranes, sports, lipids, LPO.

The objective of work: to determine the composition, physicochemical properties of erythrocyte membranes and lipoprotein blood complexes of cyclic sports athletes in conjunction with the functional activity of erythrocytes, as well as the effect on these indicators of the dietary regime.

The obtained results and their scientific novelty: The research show that the microviscosity of annular and total lipid pools erythrocyte membranes athletes is lower than that of persons not involved in sports. However, the erythrocyte membrane athletes have in comparison with persons who are not involved in sports, increased micropolar zone of annular and total lipid pools erythrocyte membrane. Also, found a statistically significant increase in the oxidative modification of proteins of erythrocyte membranes athletes conjugate, probably with heavy transport oxygen, as evidenced by a consistent increase in the level of the identified differences sportsmanship. Obtained information on the fatty acid profile of the major phospholipids of erythrocyte membranes, showing an increase in the amount of PUFA. The influence of the physicochemical properties of the cell membranes of capillary blood on oxygen release rate of venous blood erythrocytes. The interrelation of physicochemical properties of the membranes of red blood cells and LPC, which allows for pharmacological and nutritional correction of lipid and fatty acid composition of erythrocyte membranes. The interrelation micropolarity of annular layer of erythrocyte membranes and the intensity of the oxygen release. Based on simulated data expected negative effect on the intensity of reception of antioxidants oxygen release erythrocytes venous blood. It is shown that the intake of flaxseed oil leads to a decrease in microviscosity and micropolarity of erythrocyte membranes, which in athletes is accompanied by an increase in working capacity.

Practical use of results: in sports medicine for the correction of the lipid composition of erythrocyte membranes athletes to optimize blood oxygen and efficiency.

The field of use: training courses in biochemistry, normal and pathological physiology, sports medicine.

Подписано в печать 08.10.2018 г. Формат бумаги 60×84 1/8.
Бумага типографская №2. Ризография. Усл. печ. листов ____.
Уч.-изд. л. _____. Тираж 60 экз. Заказ _____.
Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Витебский государственный медицинский университет»
ЛП № 02330/453 от 30.12.2013 г.
210023, г. Витебск, Фрунзе, 27