

*Л.В. Журавлёва, Н.А. Лопина*

*Харьковский национальный  
медицинский университет*

# АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АЛЬФА-ЛИПОВОЙ КИСЛОТЫ У ПАЦИЕНТОВ ОЧЕНЬ ВЫСОКОГО КАРДИОВАСКУЛЯРНОГО РИСКА

## Резюме

Статья посвящена современным возможностям применения альфа-липоевой кислоты у пациентов очень высокого кардиоваскулярного риска, в том числе с сахарным диабетом 2-го типа, который ускоряет повреждение сосудистой стенки и развитие атеросклероза. Особое внимание уделено роли оксидантного стресса, атерогенной дислипидемии и эндотелиальной дисфункции, обоснована необходимость многофакторной патогенетической терапии в профилактике и лечении сосудистых осложнений. Систематически изложены особенности воздействия альфа-липоевой кислоты на метаболические процессы в организме, ее роль в системе антиоксидантной защиты, а также ее цитопротекторные, ангиопротекторные свойства. Основываясь на данных доказательной медицины, приведены развернутые схемы применения препаратов альфа-липоевой кислоты, обоснована рациональность ее использования в схемах комбинированной терапии.

## Ключевые слова

Альфа-липоевая кислота, эндотелиальная дисфункция, оксидантный стресс, атеросклероз, высокий кардиоваскулярный риск, сахарный диабет.

Ведущее место среди сердечно-сосудистой патологии в этой группе принадлежит ишемической болезни сердца, в основе которой лежит атеросклеротическое поражение коронарных сосудов. Для пациентов с СД 2-го типа характерно более раннее развитие атеросклеротического поражения коронарных артерий, быстрое прогрессирование процесса, мультифакторность поражения преимущественно дистально расположенных артерий среднего и малого калибра [32]. Заболеваемость сахарным диабетом (СД) 2-го типа неуклонно растет. Кардиоваскулярная смертность у больных СД 2-го типа превышает аналогичный показатель в общей популяции в 3 раза. Риск развития острого инфаркта миокарда в этой группе в 6-10 раз, а мозговых инсультов — в 4-7 раз выше по сравнению с лицами без сопутствующего сахарного диабета [2]. Поэтому пациентов с СД 2-го типа относят к группе очень высокого кардиоваскулярного риска. На фоне проведения адекватной статинотерапии у пациентов с СД 2-го типа остается высоким остаточный (резидуальный) сердечно-сосудистый риск, для снижения которого необходима рациональная фармакотерапия,

основанная на патогенетических механизмах, лежащих в основе развития сосудистых осложнений сахарного диабета [15, 38].

## Патогенез сосудистых осложнений при СД 2-го типа

Повреждение сосудов, обуславливающее высокий кардиоваскулярный риск у этой группы пациентов, является сложным многокомпонентным процессом и развивается при взаимодействии целого ряда патогенетических механизмов.

Обязательными звеньями патогенеза сосудистых осложнений при СД, наряду с дефицитом инсулина, инсулинорезистентностью, гипергликемией, гликированием белков, активацией полиолового пути утилизации глюкозы, дислипидемией, являются неконтролируемые реакции свободнорадикального окисления с развитием оксидантного стресса, воспаление, дисфункция эндотелия, нарушение коагуляции [4, 15].

Еще в 1987 г. Wolff S. и соавт. впервые показали, что основная роль в развитии сосудистых осложнений диабета принадлежит неферментативному аутоокислительному гликированию с образованием поздних продуктов гликирования (AGE's — advanced glycation end-product) и окислительному стрессу, вызванных наруше-

© Л.В. Журавлёва, Н.А. Лопина

нием углеводного обмена. В организме в физиологических условиях имеется постоянный баланс между уровнем свободных радикалов (оксидантов) и активностью системы антиоксидантной защиты (АОЗ). Окислительный стресс, развивающийся при СД, сопровождается нарушением равновесия между постоянным увеличением количества оксидантов с активацией перекисного окисления липидов и системой АОЗ. Образование глутатиона задерживается в условиях гипергликемии. Доказано также, что активация ферментов полиолового пути утилизации глюкозы сопровождается снижением содержания восстановленного глутатиона диальдегида и активности глутатиона. Оксидантный стресс при СД развивается в результате: 1) повышенного образования реактивных оксидантов, образующихся при окислении углеводов, формирующих комплексы с различными белками при аутоокислении жирных кислот в триглицеридах, фосфолипидах и эфирах холестерина; 2) снижения активности АОЗ (глутатиона, глутатионпероксидазы, каталазы, супероксиддисмутазы, витаминов К, Е, С, таурина, каротина, мочевой кислоты и коэнзима Q<sub>10</sub>, альфа-липоевой кислоты); 3) нарушения ферментов полиолового обмена глюкозы [1, 3, 15].

Гликирование белков является неотъемлемым компонентом поражения сосудов у больных СД и обусловлено способностью глюкозы образовывать с аминокетонами различных белков различные соединения, участвующие в обмене и являющиеся исходным материалом для образования необратимых в химических реакциях веществ — AGE's. Период полураспада их более длительный, чем белков (от нескольких месяцев до нескольких лет). AGE's являются самостоятельными атерогенными факторами, так как способствуют повышению проницаемости эндотелия, усилению адгезии клеток крови, активации хемотаксиса моноцитов/макрофагов в артериальную стенку, пролиферации гладкомышечных клеток. Образование AGE's на белках базальной мембраны приводит к ее утолщению, сужению просвета капилляров и нарушению их функции. При СД состояние оксидантного стресса постоянно поддерживается вследствие аутоокисления глюкозы, неферментативного гликирования белков с образованием AGE's. Данные нарушения способствуют усилению процессов перекисидации липидов, образованию модифицированных липопротеинов, усилению накопления их в пенистых клетках, являющихся основой атеросклеротического повреждения крупных сосудов. Именно модифицированные ЛПНП играют ключевую роль в атерогенезе вследствие низкого сродства к апо-В/Е-рецепторам клеток и своей способности

повреждать эндотелий, так как при дефектной конформации частицы окисленных ЛПНП перестают «узнаваться» своими специфическими рецепторами моноцитов/макрофагов, которые переносят ЛПНП в стенки сосудов. Происходит активация сквенджер-рецепторов макрофагов с последующим неспецифическим эндоцитозом — сквенджер-захватом липидов, обусловленным гиперхолестеринемией и окислением липопротеинов низкой плотности. По такому пути удаление ЛПНП происходит быстрее, чем при рецептор-опосредованном. Но в результате сквенджер-захвата в эндотелий и интиму артерий попадает большое количество модифицированных ЛПНП [1, 3, 5].

Кроме того, у больных СД 2-го типа инсулинорезистентность активизирует липолиз в адипоцитах, в кровь поступает большое количество свободных жирных кислот. В печени часть из них служит субстратом для синтеза триглицеридов и избыточной продукции ЛПОНП. Печеночная липаза превращает ЛПОНП в мелкие плотные частицы ЛПНП, которые быстро окисляются, что способствует их проникновению в субэндотелиальное пространство и тем самым усиливает процесс развития атеросклеротических поражений. Одновременно происходит уменьшение концентрации ЛПВП-частиц, осуществляющих обратный транспорт холестерина. ЛПВП изменяются, качественно становясь более мелкими, и быстрее выводятся из организма, способны окисляться, метаболизироваться. Таким образом, у больных СД 2-го типа имеет место развитие комбинированной дислипидемии — увеличивается количество АпоВ-содержащих частиц — триглицеридов, общего холестерина и холестерина ЛПОНП, мелких и плотных частиц холестерина ЛППП, снижается уровень АпоАI-содержащих частиц холестерина ЛПВП. Гликозилирование способствует образованию реактивных форм кислорода, инициирующих окисление ЛПНП, которые становятся еще более атерогенными. В исследованиях MARS (Monitored Atherosclerosis Regression Study) и CLAS (Cholesterol-Lowering Atherosclerosis Study) было показано, что уровни модифицированных липопротеидов, богатых триглицеридами, коррелируют с тяжестью ИБС, а уровень триглицеридов плазмы является независимым фактором риска ИБС и развития кардиоваскулярных событий [17]. В настоящее время установлено, что увеличение уровней триглицеридов, модифицированных ЛПНП, и снижение уровней ЛПВП являются независимыми факторами риска ИБС.

Жировая ткань гормонально активна и в условиях инсулинорезистентности вырабатывает большое количество провоспалительных цитокинов, в частности ФНО-α, которые способствуют

ют активации способности макрофагов модифицировать ЛПНП. Окисленные формы ЛПНП, обладая прямым цитотоксическим эффектом, проникают в эндотелий и повреждают его. При этом на поверхности эндотелия стимулируется адгезия моноцитов, которые в субэндотелиальном пространстве приобретают свойства макрофагов, секретирующих биологически активные вещества (хемотоксины, митогены, факторы роста). Происходит миграция и пролиферация гладкомышечных клеток и фибробластов из меди и интиму, где активизируется синтез соединительной ткани. Дисфункция эндотелия, возникающая в итоге, приводит к уменьшению синтеза и выделения вазодилаторов и антикоагулянтов (оксида азота, простациклина, брадикинина и др.), а также к активации образования вазоконстрикторов (РААС, эндотелинов, тромбосана и др.), т.е. формируются условия для развития атеросклеротического процесса. Дисфункция эндотелия развивается на начальных этапах заболевания, еще до появления атеросклеротических бляшек, так как потеря регуляторной способности эндотелия (нарушение эндотелий-зависимой вазодилатации) лежит в основе всех макрососудистых осложнений сахарного диабета [4]. Таким образом, эндотелиальная дисфункция является ранним и неотъемлемым компонентом в патогенезе атеросклероза у больных СД и в настоящее время рассматривается как начальный этап атерогенеза. Кроме того, она играет ведущую роль и на поздних стадиях атеросклеротического поражения, так как нарушения эндотелий-зависимой релаксации и повышенная адгезивность эндотелиальной выстилки могут способствовать спазму, дестабилизации атеросклеротической бляшки с последующим разрывом ее поверхности. При повреждении эндотелия или нарушении его функции происходит нарушение обмена липопротеинов, в то же время развитие дисфункции эндотелия может быть результатом нарушений липидного обмена. Таким образом, создается своеобразная положительная обратная связь между состояниями липидного обмена и эндотелия: нарушения в одной стороне усиливают нарушения в другой. Эндотелиальная дисфункция характеризуется неадекватным (увеличенным или сниженным) образованием в эндотелии различных биологически активных веществ, что способствует уменьшению вазодилатации, активации воспаления и тромбообразования [1, 2, 4].

Вещества эндотелиального происхождения можно разделить на следующие группы:

1. Факторы, постоянно образующиеся в эндотелии и выделяющиеся из клеток в базолатеральном направлении или в кровь (NO, простациклин).

- Факторы, накапливающиеся в эндотелии и выделяющиеся из него при стимуляции (фактор Виллебранда, Р-селектин, тканевой активатор плазминогена). Эти факторы могут попадать в кровь при стимуляции эндотелия, а также при его активации и повреждении.
- Факторы, синтез которых в нормальных условиях практически не происходит, но резко увеличивается при активации эндотелия (эндотелин-1, ICAM-1, VCAM-1, Е-селектин, PAI-1).
- Факторы, синтезируемые и накапливающиеся в эндотелии (t-PA) либо являющиеся мембранными белками (рецепторами) эндотелия (тромбомодулин, рецептор протеина С).

**Основные функции эндотелия и механизмы их осуществления**

Функции эндотелия	Основные механизмы
Атромбогенность сосудистой стенки	NO, t-PA (тканевой активатор плазминогена), тромбомодулин, простациклин и другие факторы
Тромбогенность сосудистой стенки	Фактор Виллебранда, PAI-1, PAI-2 (ингибиторы активатора плазминогена), эндотелин-1
Регуляция адгезии лейкоцитов	Р-селектин, Е-селектин, ICAM-1 (молекулы межклеточной адгезии 1-го типа), VCAM-1 (молекулы адгезии сосудистого эндотелия 1-го типа) и другие молекулы адгезии
Регуляция тонуса сосудов	<u>Констрикторы:</u> эндотелин, тромбосан А <sub>2</sub> , ангиотензин II <u>Дилаторы:</u> NO, PGI-2 (простациклин) и другие факторы
Регуляция роста сосудов	VEGF (сосудисто-эндотелиальный фактор роста), FGFβ (фактор роста фибробластов) и другие факторы

Эндотелий может находиться в двух состояниях: покоя или активации. Неактивные эндотелиальные клетки обладают антикоагулянтным, антиадгезивным и сосудорасширяющими свойствами, в то время как активированные — прокоагулянтным, проадгезивным и сосудосуживающим эффектами. Активация эндотелиальных клеток вызывает экспрессию воспалительных медиаторов и молекул адгезии клетки, изменяет концентрацию и активность белков, вовлеченных в процесс регуляции тонуса сосудов, например ингибитора активатора плазминогена 1 (PAI-1), уменьшает уровень антикоагулянта тромбомодулина, способствуя увеличению выработки тромбина и формированию фибрина [1, 2].

Эндотелиальные клетки чувствительны к различным повреждающим факторам: гипергликемии, воздействию конечных продуктов гликозилирования, свободных радикалов, воспалительных цитокинов, холестерина. Ведущим звеном в патогенезе эндотелиальной дисфункции является нарушение синтеза и выделения оксида азота (NO), важного эндотелиального вазодилатирующего фактора, участвующего в регуляции сосудистого тонуса. Кроме того, NO опосредует эффек-

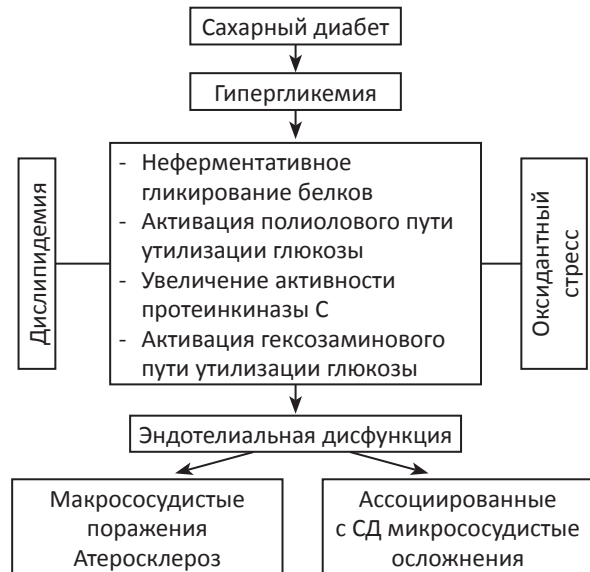
ты таких эндотелий-зависимых вазодилататоров, как ацетилхолин, брадикинин, гистамин и др., тормозит образование эндотелий-зависимых вазоконстрикторов (эндотелинов, ангиотензина, тромбосана), блокирует высвобождение норадреналина из окончаний симпатической нервной системы и образование эндотелием ангиотензина. NO также ингибирует агрегацию тромбоцитов путем удаления избытка ионов кальция из них вследствие активации кальцийзависимых кальциево-калиевых каналов, что препятствует образованию тромбов, поскольку кальций необходим во всех этапах тромбообразования, а также уменьшает тромбогенный эффект тромбоцитов путем предотвращения действия вазоконстрикторов (тромбосана, серотонина и др.), выделяемых тромбоцитами. NO уменьшает экспрессию молекул адгезии, пролиферацию клеток гладкой мускулатуры, тем самым препятствуя развитию и прогрессированию атеросклероза [1, 2, 4].

Оксид азота постоянно образуется из L-аргинина при участии эндотелиальной NO-синтетазы (eNOS) и выделяется из эндотелия. Активность eNOS преимущественно выражена в эндотелии артериальных сосудов и минимальна в эндотелии капилляров и вен. В результате развития оксидантного стресса снижается уровень оксида азота, что еще больше повреждает эндотелий. Оксид азота вследствие взаимодействия с кислородом в клетках окисляется, первоначально переходит в нитрит ( $\text{NO}_2$ ) и нитрат ( $\text{NO}_3$ ), а впоследствии — в пероксинитрит ( $\text{ONOO}$ ) — токсичное вещество, которое способствует увеличению продуктов перекисного окисления липидов, нитратов и нитритов. Кроме того, супероксид-анион обладает способностью тормозить экспрессию и активность eNOS, уменьшает его содержание в эндотелии. Таким образом, свободные кислородные радикалы, накапливаясь в клетках, становятся своеобразной «ловушкой» для NO, который при этом, превращаясь в пероксинитрит, еще больше увеличивает окислительный потенциал, стимулирует адгезию на поверхности эндотелия клеток крови.

Согласно экспериментальным данным, в области атеросклеротических бляшек уменьшено содержание синтетаз оксида азота. В физиологических условиях взаимодействие оксида азота с супероксид-анионом происходит постоянно. Однако в норме функционирует сильная антиоксидантная защита, которая поддерживает баланс между  $\text{O}_2$  и NO, тем самым предохраняя эндотелий от повреждения. Сдвиг же равновесия в сторону свободных радикалов кислорода ведет к образованию токсического пероксинитрита, вызывающего повреждение клеточных мембран, ДНК клеток, мутациям, перекисному окислению липидов, усилению апоптоза. Окси-

дантный стресс повышает экспрессию адгезивных молекул эндотелия, факторов роста и хемокинов, способствующих развитию воспалительных и других процессов, характерных для атеросклероза.

Схематически многоступенчатый процесс поражения сосудистой стенки при СД можно представить следующим образом:



**Альфа-липоевая кислота**

В недавно проведенном исследовании Yi X. и соавт. доказано, что снижение экспрессии генов синтетазы альфа-липоевой кислоты (АЛК) усугубляет атеросклероз у мышей, больных сахарным диабетом с дефицитом аполипопротеина E, и ассоциируется с повышенными показателями оксидантного стресса, снижением антиоксидантной защиты, усилением системного перекисного окисления липидов [55]. Доказано также, что дефицит синтетазы АЛК ассоциирован с активацией маркеров воспаления (фактором некроза опухолей  $\alpha$  (TNF- $\alpha$ ), моноцит-хемоаттрактивным протеином 1 (MCP-1)), что свидетельствует об активации воспалительного ответа, являющегося неотъемлемым компонентом повреждения сосудов и развития эндотелиальной дисфункции, атеросклероза [4].

АЛК синтезируется в митохондриях и является важным звеном системы АОЗ наряду с супероксиддисмутазой, каталазой, глутатионпероксидазой, металлосвязывающими белками (хелатами), глутатионом, убихиноном, мочевой кислотой, аскорбиновой кислотой, токоферолом, селеном, рибофлавином, а также кофактором ряда метаболических процессов, выступает как в роли антиоксиданта прямого действия, так и оказывает опосредованное антиоксидантное действие [16].

АЛК представляет собой рацемическую смесь R(+)- и S(-)-изомеров. R(+)-изомер действует как не-

заменяемый кофактор, в то время как S(-)-изомер препятствует его полимеризации для усиления его биодоступности. Именно с R(+)-изомером и связаны основные терапевтические эффекты АЛК: блокирование активных форм кислорода, восстановление других эндогенных антиоксидантов (витамина E, C, глутатиона), хелатирование ионов двухвалентных металлов благодаря наличию в своей структуре двух тиоловых групп, репарация окисленных белков, регуляция генной транскрипции, ингибирование активации ядерного фактора каппа-B — NF-κB [5, 21, 57]. Преимуществом АЛК в сравнении с другими антиоксидантами являются как гидрофильные, так и липофильные свойства, что способствует широкому распространению вещества в организме — и в клеточных мембранах, и в цитоплазме клеток, благодаря чему АЛК очень часто называют «антиоксидантом в квадрате», «универсальным антиоксидантом». Витамин E, например, представляет собой липофильное соединение, а витамин C — гидрофильное. Экспериментальные исследования показали, что после введения АЛК отмечалось снижение потребления железа, его внутриклеточной концентрации, что способствовало снижению риска индуцированного железом окислительного стресса. Антиоксидантные свойства АЛК, обусловленные наличием двух тиоловых групп в молекуле, а также способностью связывать молекулы радикалов и свободное тканевое железо, предотвращая его участие в ПОЛ, в настоящее время хорошо изучены и доказаны [15, 37, 40].

Большой интерес представляют изучение ее влияния на метаболические процессы, регуляцию углеводного и липидного обменов, эндотелиальную дисфункцию и атеросклероз, то есть на основные компоненты, составляющие кардиоваскулярный риск у пациентов с СД 2-го типа.

В экспериментальных исследованиях показаны гипогликемические свойства АЛК [51]. В исследовании Zhang Y. и соавт. в группе пациентов с нарушенной толерантностью к глюкозе (НТГ) и ожирением, принимающих АЛК в дозировке 600 мг в сутки, достоверно повышался индекс инсулинчувствительности периферических тканей, что стимулировало улучшение усвоения глюкозы клетками и процессы сохранения гликогена в мышцах [57]. В исследовании Каменова Р. и соавт. также была доказана способность АЛК, принимаемой 600 мг в сутки, повышать чувствительность к инсулину у больных СД 2-го типа [20]. В недавнем рандомизированном двойном слепом плацебо-контролируемом исследовании Rogasuphatana S. и соавт. было продемонстрировано дозозависимое влияние АЛК на снижение уровня глюкозы и гликозилированного гемоглобина у больных СД 2-го типа [39].

Кроме того, АЛК оказывает цитопротекторное действие на β-клетки поджелудочной железы, так

как процессы их апоптоза также связаны с оксидантным стрессом. АЛК также ингибирует процессы гликирования белков и формирования конечных продуктов гликозилирования — важных патогенетических механизмов повреждения сосудов у больных СД [7]. Ansar H. и соавт. у пациентов с СД 2-го типа показали, что назначение АЛК (100 мг в/в) увеличивало инсулинозависимую утилизацию глюкозы всем телом на 59% [5]. Высказано предположение, о том, что АЛК является антиоксидантом, защищающим сульфгидридные группы системы транспортеров глюкозы (Glut-1 и Glut-4). В другом исследовании 10-дневное перфузионное введение 500 мг АЛК привело к значительному повышению инсулинозависимой утилизации глюкозы на 30% и увеличению индекса инсулинчувствительности у больных СД 2-го типа [15].

В последнее время доказано воздействие АЛК на ключевой фермент, обеспечивающий нормальный метаболизм в клетках, — аденозинмонофосфатактивированную протеинкиназу (АМПК). АМПК выступает в роли датчика энергии в клетке. Активированная АМПК подавляет катаболические процессы, связанные с расходом АТФ, и стимулирует анаболические виды обмена, обеспечивающие регенерацию АТФ. Активация АМПК в периферических тканях способствует нормализации основных показателей углеводного и липидного обменов, снижению ИР. Например, возрастание активности АМПК в мышечной ткани ускоряет окисление жирных кислот и утилизацию глюкозы. На уровне печени активация фермента приводит к подавлению синтеза холестерина и триглицеридов, усилению липолиза и снижению продукции глюкозы. В клетках поджелудочной железы АМПК подавляет глюкозозависимую секрецию инсулина, а на уровне центральной нервной системы — осуществляет регуляцию энергообмена и массы тела путем стимуляции анаболических и угнетения катаболических нейронов дугообразных ядер гипоталамуса, что приводит к повышению аппетита и ожирению [19, 22, 24].

Согласно накопленным экспериментальным данным установлено взаимодействие АЛК и АМПК: в периферических тканях АЛК повышает активность АМПК, а на уровне ЦНС — снижает активность данного фермента. Так, было показано, что у тучных мышей с предрасположенностью к СД отмечалось резкое снижение содержания АМПК в мышечной ткани. Введение же АЛК этим животным повышало содержание АМПК в мышцах, что сопровождалось увеличением инсулинстимулированной утилизации глюкозы, усилением окисления жирных кислот, уменьшением массы тела, а также снижением риска СД благодаря подавлению накопления триглицеридов. В то же время АЛК угнетала активность АМПК на уровне гипоталамуса, что приводило к снижению

аппетита и уменьшению массы тела у экспериментальных животных [28, 29, 34]. В исследовании Koh. и соавт., с участием 360 больных СД 2-го типа, введение 1800 мг АЛК в сутки способствовало умеренному снижению массы тела при ожирении [23].

В экспериментальных исследованиях показано, что АЛК является двойным агонистом рецепторов PPAR $\alpha$  и PPAR $\gamma$  (Peroxisome Proliferator Activated Receptor), участвующих в формировании нормальной чувствительности тканей к инсулину, и способна активировать гены-мишени данных рецепторов. Наибольшее количество рецепторов PPAR $\gamma$  сосредоточено в жировой ткани, а PPAR $\alpha$  — в печени и мышцах. Доказано, что АЛК активирует данные рецепторы, что приводит к снижению инсулинорезистентности благодаря повышению окисления свободных жирных кислот в печени. Это, в свою очередь, сопровождается снижением их концентрации в крови и уменьшением содержания триглицеридов и ЛПОНП, формированием адипоцитов малых размеров, у которых способность к накоплению свободных жирных кислот превышает возможности крупных жировых клеток, снижением содержания свободных жирных кислот в кровяном русле путем активации их захвата и утилизации в адипоцитах, а также подавлением накопления жира в мышцах, сердце, печени, поджелудочной железе, повышением концентрации адипонектина, обладающего антиатерогенными свойствами, активацией транспортеров глюкозы [33]. По данным Saygin M., лечение АЛК снижало уровни мочевой кислоты, окислительный стресс [41].

#### **Альфа-липоевая кислота и эндотелиальная дисфункция**

Асимметричный диметиларгинин (АДМА) — эндогенный ингибитор NO-синтетазы, нарушает синтез антиатерогенного NO и тем самым участвует в патогенезе атеросклероза. Даже у здоровых лиц при введении АДМА происходит сужение сосудов, умеренно повышается артериальное давление, нарушается эндотелий-зависимая сосудистая реакция на ацетилхолин. Доказано, что повышенная концентрация АДМА является предиктором сердечно-сосудистых событий в различных популяциях, включая пациентов с СД 2-го типа, а кроме того, маркером риска инсульта и транзиторных ишемических атак [4, 15, 35]. Высокие уровни АДМА ассоциировались с повышением кардиоваскулярной смертности [25, 26, 47]. По данным проведенных исследований на животных моделях было доказано, что альфа-липоевая кислота улучшает эндотелий-зависимую вазодилатацию путем повышения активности эндотелиальной NO-синтазы и улучшения биодоступности NO [42].

В относительно недавно проведенных исследованиях у больных СД 2-го типа также было по-

казано положительное влияние АЛК на эндотелиальную функцию. В частности, в двойном слепом рандомизированном плацебо-контролируемом исследовании Mittermayer F. и соавт. у пациентов с СД 2-го типа выявлено достоверное снижение уровня АДМА в подгруппе пациентов, получающих инъекционно 600 мг АЛК в течение трех недель [35]. В пилотном исследовании Chang J. и соавт. у пациентов с СД 2-го типа с терминальной стадией хронической почечной недостаточности, находящихся на гемодиализе, также было продемонстрировано достоверное снижение уровня АДМА в плазме крови в подгруппе пациентов, получавших АЛК 600 мг в сутки в течение 12 недель, с 1,68 до 1,31 мкмоль ( $p=0,001$ ) [9]. В другом плацебо-контролируемом рандомизированном исследовании Heinisch V. и соавт. у пациентов с СД 2-го типа оценивались эндотелий-зависимая и независимая вазодилатация по кровотоку на предплечье. Было показано достоверное улучшение эндотелий-зависимой вазодилатации в подгруппе пациентов, получавших АЛК инъекционно в дозировке 600 мг в течение 21 дня [18]. В исследовании Xiang G. и соавт. у пациентов с НТГ прием АЛК в дозировке 300 мг перед проведением теста толерантности уменьшал дисфункцию эндотелия, индуцированную острой гипергликемией [52]. В рандомизированном двойном слепом плацебо-контролируемом исследовании ISLAND (Irbesartan and Lipoic Acid in Endothelial Dysfunction) также сравнивалось влияние АЛК в дозировке 300 мг в сутки и блокатора рецепторов ангиотензина II ирбесартана в дозировке 150 мг в сутки, назначаемых в течение месяца, на эндотелиальную дисфункцию. Было показано, что применение АЛК в качестве моно- или комбинированной терапии с ирбесартаном у пациентов с метаболическим синдромом способствовало улучшению эндотелий-зависимой вазодилатации, оцениваемой по кровотоку на плече [46].

Важным маркером повреждения эндотелия является повышенная концентрация в крови тромбомодулина (CD141) — рецептора тромбина, экспрессированного на мембранах эндотелиальных клеток. Тромбомодулин, связывая тромбин, изменяет его свойства: тромбин теряет способность усиливать процессы коагуляции, превращать фибриноген в фибрин, приобретает способность активировать плазменные факторы (протеин С и ингибитор фибринолиза), превращаясь из активного коагулянта в антикоагулянт [4, 15]. В исследовании Morgos M. и соавт. у пациентов с СД применение АЛК в дозировке 600 мг в сутки в течение 18 мес. приводило к снижению уровня тромбомодулина в плазме крови с  $37,5 \pm 16,2$  до  $30,9 \pm 14,5$  нг/мл ( $p < 0,01$ ), в то время как в подгруппе пациентов, не получающих

данный препарат, отмечалось достоверное увеличение уровня тромбомодулина с  $35,9 \pm 9,5$  до  $39,7 \pm 9,9$  нг/мл ( $p < 0,05$ ) [36].

Хорошо известно, что в основе патогенеза атеросклеротического процесса лежат иммуновоспалительные реакции. Еще на ранних стадиях атерогенеза во время отложения липидов во внутренней оболочке артерий лейкоциты (моноциты и Т-лимфоциты) «прилипают» к поверхности эндотелия артерий и проникают в стенки сосудов благодаря усилению экспрессии на поверхности эндотелия сосудистых VCAM-1 (soluble vascular cellular adhesion molecules 1 — молекулы адгезии сосудистого эндотелия 1-го типа) и межклеточных ICAM-1 (soluble intercellular adhesion molecules 1 — молекулы межклеточной адгезии 1-го типа) молекул адгезии. В физиологических условиях эндотелиальные клетки не экспрессируют молекулы адгезии (ICAM-1 плохо выявляется на покоящемся эндотелии, а VCAM-1 отсутствует). Концентрация последних на поверхности эндотелиальных клеток увеличивается при действии различных факторов, активирующих эндотелий, в том числе у больных СД 2-го типа [4].

В развитии дисфункции эндотелия при СД 2-го типа важную роль играет активация ядерного транскрипционного фактора карра-В (NF-κB), который является одним из главных транскрипционных факторов, чувствительных к оксидантному стрессу и действию модифицированных ЛПНП. Он представляет семейство цитоплазматических белков, которые при стимуляции переходят в свободное состояние, перемещаясь в ядро, где проявляют активность, связываясь с промоторными участками генов. В эндотелиальных клетках NF-κB контролирует экспрессию цитокинов IL-1β, TNF-α, вазопрессора эндотелина 1, факторов роста, молекул адгезии лейкоцитов, хемотаксиса, опосредованно вызывая воспаление, лежащее в основе атеросклеротического процесса, и тромбогенную трансформацию сосудистой стенки [4, 15]. По данным Ying Z. и соавт., АЛК блокирует активацию и поступление в ядро NF-κB и экспрессию генов, находящихся под его контролем, независимо от антиоксидантной функции. Имеются данные о том, что назначение 600 мг АЛК приводит к снижению повышенного уровня NF-κB в моноцитах крови у больных СД [36]. Показано, что АЛК снижает экспрессию VCAM-1, ICAM-1, адгезию моноцитов, уровень TNF-α [44]. В уже упоминаемом исследовании ISLAND было показано достоверное снижение уровня IL-6 — важного маркера воспаления, обнаруживаемого в атеросклеротических бляшках, на 15% от исходного уровня у пациентов, принимающих АЛК 300 мг в сутки в течение 4 недель [46]. Уменьшение дисфункции эндотелия при применении АЛК продемонстрировано в многочисленных исследованиях [49, 58].

### Альфа-липоевая кислота и дислипидемия

В многочисленных моделях на животных изучалось влияние АЛК на показатели липидного обмена. Было показано влияние АЛК на уменьшение дисфункции эндотелия и показателей дислипидемии при ожирении [29]. А у мышей со стрептозотоцин-индуцированным диабетом, наряду с улучшением показателей углеводного обмена и оксидантного стресса, регистрировалось достоверное предотвращение повышения уровня общего холестерина и атеросклеротического повреждения сосудов в подгруппе, получавшей АЛК [54]. Аналогичные результаты были получены в другом исследовании, проводившемся в Новой Зеландии на белых кроликах с индуцированной гиперхолестеринемией, — показано, что применение АЛК 4,2 г/кг в сутки способствовало уменьшению уровня общего холестерина и ХС ЛПНП, повышению уровня ЛПВП, снижению атеросклеротического повреждения сосудов [60]. В исследовании Хи J. и соавт. также продемонстрировано снижение уровней триглицеридов, общего холестерина, уровня провоспалительных цитокинов IL-6 и СРБ, повышение уровня ЛПВП при использовании АЛК в качестве комбинированной терапии у крыс, получавших гиперхолестериновую диету [53]. Sena S.M. и соавт. продемонстрировали значительное снижение уровня общего холестерина и не-ЛПВП у больных сахарным диабетом крыс, получавших гиперхолестериновую диету, которым внутрибрюшинно вводили АЛК (50 мг/кг массы тела), в сравнении с группой контроля [42]. Butler A. и соавт. сообщили о снижении постпрандиального уровня ТГ на 42% и ЛПОНП у самцов крыс, получавших АЛК в течение 5 недель, что связывают с уменьшением липогенеза de novo [7].

В относительно недавно проведенном исследовании Moreau R. и соавт. показано влияние АЛК на уровень триглицеридов у генетически модифицированных крыс с врожденным ожирением и сахарным диабетом. С возраста 5 недель животным давали по 200 мг R-альфа-липоевой кислоты на 1 кг массы тела в сутки. Этим животным, получавшим АЛК на протяжении 5 недель эксперимента, сравнили с контрольной группой крыс. Все животные получали специальную атерогенную диету. Содержание триглицеридов плазмы крови к окончанию исследования выросло по сравнению с начальным уровнем. В группе экспериментальных животных, получавших АЛК, уровень триглицеридов удвоился, в то время как в контрольной группе он вырос более чем на 400%. В заключение исследования была изучена печень животных и обнаружено повышенное содержание гликогена у крыс, получавших АЛК, что свидетельствовало о том, что большая часть потребляемых углеводов сохранялась в виде гликогена, а не превращалась в триглицериды [8].

В многочисленных работах изучалось гиполлипидемическое влияние АЛК у людей. Harding S.V. и соавт. наблюдали снижение уровня триглицеридов и сдвиг в сторону более крупных, менее атерогенных частиц ЛПНП у больных без СД с синдромом поликистозных яичников [17]. В рандомизированном плацебо-контролируемом исследовании Gianturco V. и соавт. также сообщали о достоверном повышении уровня ЛПВП и незначительном снижении ЛПНП у больных СД 2-го типа, получавших АЛК в дозировке 400 мг в сутки, в сравнении с группой контроля [14]. Wollin S. и соавт. также сообщали о повышении уровня ЛПВП при применении АЛК [50]. В исследовании Kim H. и соавт. при применении АЛК в дозировке 1200 мг в сутки в течение 12 недель у пациентов с ожирением наблюдалось снижение уровня общего холестерина на 8% и недостоверное снижение уровня ЛПНП [21, 22]. В исследовании Koh E. и соавт. не было отмечено достоверного влияния на дислипидемию у 360 больных СД 2-го типа с ожирением, получавших АЛК в дозировке 1800 мг в сутки, однако наблюдалось достоверное снижение массы тела [23]. В исследовании Zhang Y. и соавт. изучалось влияние инъекционного введения 600 мг АЛК в течение двух недель на липидный обмен, показатели оксидантного стресса, воспаления, инсулинорезистентности у пациентов с ожирением и НТГ. Наряду с уменьшением инсулинорезистентности индекс инсулиночувствительности (ИЧИ) вырос на 41%, достоверно уменьшились уровни малонового диальдегида (МАД), провоспалительных цитокинов — TNF- $\alpha$ , IL-6, наблюдалось снижение уровня СЖК, общего холестерина, ЛПНП, мелких плотных ЛПНП, модифицированных ЛПНП, ЛПОНП, триглицеридов ( $p < 0,01$ ) [57].

#### **Альфа-липовая кислота и атеросклероз**

Во многих экспериментальных работах были продемонстрированы антиатеросклеротические эффекты АЛК. В исследовании Lim S. и соавт. на экспериментальной модели было показано снижение частоты рестенозов после стентирования при пероральном приеме АЛК, а также снижение частоты рестенозов при покрытии стентов АЛК за счет подавления гиперплазии неоинтимы и ингибирования пролиферации клеток гладких мышц сосудов [31]. В другом исследовании показано также, что АЛК способна минимизировать кальцификацию и потерю эластичности при эластокальцинозе путем ингибирования образования перекиси водорода [6]. По данным Deng C. и соавт., АЛК уменьшает размер инфаркта и сохраняет сердечную функцию при ишемии/реперфузии миокарда у крыс. Это исследование продемонстрировало, что АЛК способна уменьшить сердечную дисфункцию, уменьшая некроз кардиомиоцитов, апоптоз

и воспаление после перенесенного инфаркта миокарда путем индукции цитопротективных генов [10]. Lim K.S. и соавт. продемонстрировали, что обработка стентов, покрытых комбинацией сиролимуса и АЛК на модели коронарного рестеноза у свиней, подавляет процессы неоинтимальной гиперплазии [30].

#### **Альфа-липовая кислота и гипертензия**

Относительно недавно в своем исследовании Dudek M. и соавт. продемонстрировали гипотензивный эффект АЛК [11]. Dworacka M. и соавт. резюмировали целый комплекс терапевтических эффектов АЛК на состояние сердечно-сосудистой системы у пациентов с сахарным диабетом 2-го типа [12], в том числе и на циркулирующие факторы ангиогенеза [13].

АЛК способна уменьшить повреждение микроциркуляторного русла сердца и почек, которые являются органами-мишенями при артериальной гипертензии [48], а также способствует уменьшению гипертрофии миокарда [59].

Альфа-липовая кислота в течение многих лет применяется для лечения диабетической нейропатии, однако, основываясь на данных результатов проведенных в последнее время исследований, оправданным является применение данного препарата для лечения и профилактики сосудистых осложнений сахарного диабета.

В настоящее время в многочисленных исследованиях установлена безопасность применения АЛК в суточных дозах вплоть до 2100 мг, в том числе не выявлено долгосрочных неблагоприятных эффектов АЛК. При изучении фармакокинетики АЛК было установлено, что при внутривенном введении препарата наблюдалась линейная зависимость между концентрацией АЛК в плазме и дозой вводимого препарата от 200 до 1200 мг. При пероральном приеме АЛК линейная зависимость концентрации препарата в плазме от дозы находилась в пределах 50-600 мг. Для лечения сосудистых осложнений СД в качестве начальной терапии рекомендовано использование внутривенных инфузий с последующим переходом на капсулированную форму препарата. Следует отметить, что большинством исследователей рекомендуется применение 600 мг в сутки с точки зрения доказанной клинической эффективности и безопасности [15, 43, 45].

Диалипон — отечественный препарат альфа-липовой кислоты («Фармак»), представляет собой меглюминовую соль тиоктовой кислоты и присутствует на рынке в виде капсул 300 мг, 3% раствора для инфузий в ампулах 10 и 20 мл, вводимого после разведения с 0,9% раствором натрия хлорида, а также в форме готового 1,2% раствора для инфузий во флаконах по 50 мл (Диалипон Турбо). Флакон препарата содержит 600 мг меглюминовой соли АЛК. Проведение инфузии

непосредственно из флакона более удобно и безопасно, а также сокращает время введения и не требует предварительного разведения.

Накопленные к настоящему времени экспериментальные и клинические данные, подтверждающие эффективность внутривенного и перорального применения АЛК, воздействующей на все звенья патогенеза сосудистых осложнений

у больных СД 2-го типа, в том числе эндотелиальную дисфункцию и атеросклероз, свидетельствуют о рациональном использовании в комплексной терапии препаратов альфа-липоевой кислоты. Однако необходимы дальнейшие исследования, доказывающие влияние препаратов АЛК на снижение кардиоваскулярного риска у данной группы пациентов.

### Список использованной литературы

1. Журавлёва Л.В., Лопина Н.А. Применение альфа-липоевой кислоты у пациентов очень высокого кардиоваскулярного риска с сопутствующим сахарным диабетом 2 типа // *Эндокринология*. — 2013. — Vol. 18 (3). — С. 70-80.
2. Касаткина С.Г., Касаткин С.Н. Значение дисфункции эндотелия у больных сахарным диабетом 2 типа // *Fundamental research*. — 2011. — № 7. — P. 248-252.
3. Мохорт Т.В. Альфа-липоевая кислота: полифакторное влияние и обоснование возможностей использования при сахарном диабете // *Медицинские новости*. — 2011. — 3. — P. 67-71.
4. Эндотелий. Функция и дисфункция / З.А. Лупинская, А.Г. Зарифьян, Т.Ц. Гурович, С.Г. Шлейфер. — Бишкек: КРСУ, 2008. — 373 с.
5. Ansar H., Mazloom Z., Kazemi F., Hejazi N. Effect of alpha-lipoic acid on blood glucose, insulin resistance and glutathione peroxidase of type 2 diabetic patients // *Saudi Medical Journal*. — 2011. — № 32. — P. 584-588.
6. Bassi E., Liberman M., Martinatti M.K., Bortolotto L.A., Laurindo F.R. Lipoic acid, but not tempol, preserves vascular compliance and decreases medial calcification in a model of elastocalcinosis // *Brazilian Journal of Medical and Biological Research*. — 2014. — Vol. 47 (2). — P. 119-27.
7. Butler A.E., Janson J., Bonner-Weir S., Ritzel R., Rizza R.A., Butler P.C. Beta-cell deficit and increased betacell apoptosis in humans with type 2 diabetes // *Diabetes*. — 2003. — № 52. — P. 102-110.
8. Butler J.A., Hagen T.M., Moreau R. Lipoic acid improves hypertriglyceridemia by stimulating triacylglycerol clearance and downregulating liver triacylglycerol secretion // *Archives of Biochemistry and Biophysics*. — 2009. — Vol. 485 (1). — P. 63-71.
9. Chang J.W., Lee E.K., Kim T.H., Min W.K., Chun S., Lee K.U., Kim S.B., Park J.S. Effects of alpha-lipoic acid on the plasma levels of asymmetric dimethylarginine in diabetic end-stage renal disease patients on hemodialysis: a pilot study // *American Journal of Nephrology*. — 2007. — № 27. — P. 70-74.
10. Deng C., Sun Z., Tong G., Yi W., Ma L., Zhao B., Cheng L., Zhang J., Cao F., Yi D.  $\alpha$ -Lipoic acid reduces infarct size and preserves cardiac function in rat myocardial ischemia/reperfusion injury through activation of PI3K/Akt/Nrf2 pathway // *PLoS One*. — 2013. — Vol. 8 (3). — P. e58371.
11. Dudak M., Razny K., Bilska-Wilkosz A., Iciek M., Sapa J., Wlodek L., Filipek B. Hypotensive effect of alpha-lipoic acid after a single administration in rats // *The Anatolian Journal of Cardiology*. — 2016. — Vol. 16 (5). — P. 306-9.
12. Dworacka M., Chukanova G., Isakova S., Kurmambayev Y., Wesołowska A., Frycz B.A., Jagodziński P.P., Dworacki G. New arguments for beneficial effects of alpha-lipoic acid on the cardiovascular system in the course of type 2 diabetes // *European Journal of Pharmaceutical Sciences*. — 2018. — № 117. — P. 41-47.
13. Dworacka M., Isakova S., Krzyżagórska E., Wesołowska A., Kurmambayev Y., Dworacki G. Alpha-lipoic acid modifies circulating angiogenic factors in patients with type 2 diabetes mellitus // *Diabetes Research and Clinical Practice*. — 2015. — Vol. 107 (2). — P. 273-9.
14. Gianturco V., Bellomo A., D'Ottavio E., Formosa V., Iori A., Mancinella M., Troisi G., Marigliano V. Impact of therapy with alpha-lipoic acid (ALA) on the oxidative stress in the controlled NIDDM: a possible preventive way against the organ dysfunction? // *Archives of Gerontology and Geriatrics*. — 2009. — 49 (Suppl.1). — P. 129-133.
15. Golbidi S., Badran M., Laher I. Diabetes and alpha lipoic Acid // *Frontiers in Pharmacology*. — 2011. — № 2. — P. 69.
16. Hamilton S.J., Chew G.T., Watts G.F. Therapeutic regulation of endothelial dysfunction in type 2 diabetes mellitus // *Diabetes and Vascular Disease Research*. — 2007. — № 4. — P. 89-102.
17. Harding S.V., T.C. Rideout, P.J. Jones Evidence for using alpha-lipoic acid in reducing lipoprotein and inflammatory related atherosclerotic risk // *Journal of Dietary Supplements*. — 2012. — Vol. 9 (2). — P. 116-127.
18. Heinisch B.B., Francesconi M., Mittermayer F., Schaller G., Gouya G., Wolzt M., Pleiner J. Alpha-lipoic acid improves vascular endothelial function in patients with type 2 diabetes: a placebo-controlled randomized trial // *European Journal of Clinical Investigation*. — 2010. — № 40. — P. 148-154.
19. Kahn B.B., Alquier T., Carling D., Hardie D.G. AMP-activated protein kinase: ancient energy gauge provides clues to modern understanding of metabolism // *Cell Metabolism*. — 2005. — № 1. — P. 15-25.
20. Kamenova P. Improvement of insulin sensitivity in patients with type 2 diabetes mellitus after oral administration of alpha-lipoic acid // *Hormones (Athens)*. — 2006. — № 5. — P. 251-258.
21. Kim H.S., Kim H.J., Park K.G., Kim Y.N., Kwon T.K., Park J.Y., Lee K.U., Kim J.G., Lee I.K. Alpha-lipoic acid inhibits matrix metalloproteinase-9 expression by inhibiting NF- $\kappa$ B transcriptional activity // *Experimental and Molecular Medicine*. — 2007. — № 39. — P. 106-113.
22. Kim M.S., Park J.Y., Namkoong C., Jang P.G., Ryu J.W., Song H.S., Yun J.Y., Namgoong I.S., Ha J., Park I.S., Lee I.K., Viollet B., Youn J.H., Lee H.K., Lee K.U. Antiobesity effects of alpha-lipoic acid mediated by suppression of hypothalamic AMP-activated protein kinase // *Nature Medicine*. — 2004. — № 10. — P. 727-733.
23. Koh E.H., Lee W.J., Lee S.A., Kim E.H., Cho E.H., Jeong E., Kim D.W., Kim M.S., Park J.Y., Park K.G., Lee H.J., Lee I.K., Lim S., Jang H.C., Lee K.H., Lee K.U. Effects of alpha-lipoic acid on body weight in obese subjects // *American Journal of Medicine*. — 2011. — № 124. — P. 851-858.
24. Kola B., Boscaro M., Rutter G.A., Grossman A.B., Korbonits M. Expanding role of AMPK in endocrinology // *Trends in Endocrinology and Metabolism*. — 2006. — № 17. — P. 205-215.
25. Krzyżanowska K., Mittermayer F., Krugluger W., Schnack C., Hofer M., Wolzt M., Scherthaner G. Asymmetric dimethylarginine is associated with macrovascular disease and total homocysteine in patients with type 2 diabetes // *Atherosclerosis*. — 2006. — № 189. — P. 236-240.
26. Krzyżanowska K., Mittermayer F., Shnawa N., Hofer M., Schnabler J., Etmüller Y., Kapiotis S., Wolzt M., Scherthaner G. Asymmetrical dimethylarginine is related to renal function, chronic inflammation and macroangiopathy in patients with type 2 diabetes and albuminuria // *Diabetic Medicine*. — 2007. — № 24. — P. 81-86.
27. Lee H.A., Hughes D.A. Alpha-lipoic acid modulates NF- $\kappa$ B activity in human monocytic cells by direct interaction with DNA // *Experimental Gerontology*. — 2002. — Vol. 37 (2-3). — P. 401-410.
28. Lee W.J., Song K.H., Koh E.H., Won J.C., Kim H.S., Park H.S., Kim M.S., Kim S.W., Lee K.U., Park J.Y. Alpha-lipoic acid increases insulin sensitivity by activating AMPK in skeletal muscle // *Biochemical and Biophysical Research Communications*. — 2005. — № 332. — P. 885-891.
29. Lee W.J., Lee I.K., Kim H.S., Kim Y.M., Koh E.H., Won J.C., Han S.M., Kim M.S., Jo I., Oh G.T., Park I.S., Youn J.H., Park S.W., Lee K.U., Park J.Y. Lipoic Acid Prevents Endothelial Dysfunction in Obese Rats via Activation of AMP-Activated Protein Kinase // *Arteriosclerosis, Thrombosis, and Vascular Biology*. — 2005. — № 25. — P. 2488-2494.
30. Lim K.S., Park J.K., Jeong M.H., Bae I.H., Nah J.W., Park D.S., Kim J.M., Kim J.H., Lee S.Y., Jang E.J., Jang S., Kim H.K., Sim D.S., Park K.H., Hong Y.J., Ahn Y., Kang J.C. Effect of stents coated with a combination of sirolimus and alpha-lipoic acid in a porcine coronary restenosis model // *Journal of Materials Science: Materials in Medicine*. — 2016. — Vol. 27 (4). — P. 66.

31. Lim S.Y., Bae E.H., Jeong M.H., Kim J.H., Hong Y.J., Sim D.S., Kim Y.S., Park I.K., Ahn Y., Song S.J., Cho D.L., Kim K.S., Kang J.C. The effect of alpha lipoic acid in a porcine in-stent restenosis model // *Journal of Cardiology*. — 2009. — Vol. 54 (3). — P. 375-385.
32. Maritim A.C., Sanders R.A., Watkins J.B. Diabetes, oxidative stress, and antioxidants // *Journal of Biochemical and Molecular Toxicology*. — 2003. — № 17. — P. 24-38.
33. McCarty M.F., Barroso-Aranda J., Contreras F. The «rejuvenatory» impact of lipoic acid on mitochondrial function in aging rats may reflect induction and activation of PPAR-c coactivator-1a // *Medical Hypotheses*. — 2008. *Med Hypotheses*. — 2009. — Vol. 72 (1). — P. 29-33.
34. Minokoshi Y., Alquier T., Furukawa N., Kim Y.B., Lee A., Xue B., Mu J., Foufelle F., Ferré P., Birnbaum M.J., Stuck B.J., Kahn B.B. AMP-kinase regulates food intake by responding to hormonal and nutrient signals in the hypothalamus // *Nature*. — 2004. — № 428. — P. 569-574.
35. Mittermayer F., Pleiner J., Francesconi M., Wolzt M. Treatment with alpha-lipoic acid reduces asymmetric dimethylarginine in patients with type 2 diabetes mellitus // *Translational Research*. — 2010. — № 155. — P. 6-9.
36. Morcos M., Borcea V., Isermann B., Gehrke S., Ehret T., Henkels M., Schiekofler S., Hofmann M., Amiral J., Tritschler H., Ziegler R., Wahl P., Nawroth P.P. Effect of alpha-lipoic acid on the progression of endothelial cell damage and albuminuria in patients with diabetes mellitus: an exploratory study // *Diabetes Research and Clinical Practice*. — 2001. — № 52. — P. 175-183.
37. Oliveira A.M., Rondó P.H., Luzia L.A., D'Abronzio F.H., Illison V.K. The effects of lipoic acid and  $\alpha$ -tocopherol supplementation on the lipid profile and insulin sensitivity of patients with type 2 diabetes mellitus: a randomized, doubleblind, placebo-controlled trial // *Diabetes Research and Clinical Practice*. — 2011. — № 92. — P. 253-260.
38. Poh Z.X., Goh K.P. A Current Update on the Use of Alpha Lipoic Acid in the Management of Type 2 Diabetes Mellitus // *Endocrine, Metabolic and Immune Disorders — Drug Targets*. — 2009. — № 9. — P. 392-398.
39. Parasuphatana S., Suddes S., Nartnampong A., Konsil J., Harnwong B., Santaweek S. Glycemic and oxidative status of patients with type 2 diabetes mellitus following oral administration of alpha lipoic acid: a randomized double-blinded placebo controlled study // *Asia Pacific Journal of Clinical Nutrition*. — 2012. — Vol. 21 (1). — P. 12-21.
40. Rahman S.T., Merchant N., Haque T., Wahi J., Bhaheetharan S., Ferdinand K.C., Khan B.V. The impact of lipoic acid on endothelial function and proteinuria in quinapril-treated diabetic patients with stage I hypertension: results from the QUALITY study // *Journal of Cardiovascular Pharmacology and Therapeutics*. — 2012. — Vol. 17 (2). — P. 139-145.
41. Saygin M., Asci H., Cankara F.N., Bayram D., Yesilot S., Candan I.A., Alp H.H. The impact of high fructose on cardiovascular system: Role of  $\alpha$ -lipoic acid // *Human and Experimental Toxicology*. — 2016. — Vol. 35 (2). — P. 194-204.
42. Sena C.M., Nunes E., Louro T., Proença T., Fernandes R., Boarder M.R., Seça R.M. Effects of alpha-lipoic acid on endothelial function in aged diabetic and high-fat fed rats // *British Journal of Pharmacology*. — 2008. — № 153. — P. 894-906.
43. Shay K.P., Moreau R.F., Smith E.J., Smith A.R., Hagen T.M. Alpha-lipoic acid as a dietary supplement: molecular mechanisms and therapeutic potential // *Biochimica et Biophysica Acta*. — 2009. — № 1790. — P. 1149-1160.
44. Shen D., Tian L., Shen T., Sun H., Liu P. Alpha-Lipoic Acid Protects Human Aortic Endothelial Cells Against H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>-Induced Injury and Inhibits Atherosclerosis in Ovariectomized Low Density Lipoprotein Receptor Knock-Out Mice // *Cell Physiol. Biochem*. — 2018. — Vol. 47 (6). — P. 2261-2277.
45. Singh U., Jialal I. Alpha-lipoic acid supplementation and diabetes // *Nutrition Reviews*. — 2008. — № 66. — P. 646-657.
46. Sola S., Mir M.Q., Cheema F.A., Khan-Merchant N., Menon R.G., Parthasarathy S., Khan B.V. Irbesartan and lipoic acid improve endothelial function and reduce markers of inflammation in the metabolic syndrome: results of the Irbesartan and Lipoic Acid in Endothelial Dysfunction (ISLAND) study // *Circulation*. — 2005. — № 111. — P. 343-348.
47. Tarnow L., Hovind P., Teerlink T., Stehouwer C.D., Parving H.H. Elevated plasma asymmetric dimethylarginine as a marker of cardiovascular morbidity in early diabetic nephropathy in type 1 diabetes // *Diabetes Care*. — 2004. — № 27. — P. 765-769.
48. Tayebati S.K., Tomassoni D., Di Cesare Mannelli L., Amenta F. Effect of treatment with the antioxidant alpha-lipoic (thioctic) acid on heart and kidney microvasculature in spontaneously hypertensive rats // *Clinical and Experimental Hypertension*. — 2016. — Vol. 38 (1). — P. 30-8.
49. Tromba L., Perla F.M., Carbotta G., Chiesa C., Pacifico L. Effect of Alpha-Lipoic Acid Supplementation on Endothelial Function and Cardiovascular Risk Factors in Overweight/Obese Youths: A Double-Blind, Placebo-Controlled Randomized Trial // *Nutrients*. — 2019. — Vol. 11(2). — pii: E375.
50. Wollin S.D., Wang Y., Kubow S., Jones P.J. Effects of a medium chain triglyceride oil mixture and alpha-lipoic acid diet on body composition, antioxidant status, and plasma lipid levels in the Golden Syrian hamster // *The Journal of Nutritional Biochemistry*. — 2004. — Vol. 15 (7). — P. 402-410.
51. Xiang G., Pu J., Yue L., Hou J., Sun H. Alpha-lipoic acid can improve endothelial dysfunction in subjects with impaired fasting glucose // *Metabolism*. — 2011. — Vol. 60 (4). — P. 480-485.
52. Xiang G.D., Sun H.L., Zhao L.S., Hou J., Yue L., Xu L. The antioxidant alpha-lipoic acid improves endothelial dysfunction induced by acute hyperglycemia during OGTT in impaired glucose tolerance // *Clinical Endocrinology (Oxford)*. — 2008. — № 68. — P. 716-723.
53. Xu J., Yang W., Deng Q., Huang Q., Yang J., Huang F. Flaxseed oil and  $\alpha$ -lipoic acid combination reduces atherosclerosis risk factors in rats fed a high-fat diet // *Lipids in Health and Disease*. — 2012. — № 11. — P. 148.
54. Yi X., Maeda N. Lipoic acid prevents the increase in atherosclerosis induced by diabetes in apolipoprotein E-deficient mice fed high-fat/low-cholesterol diet // *Diabetes*. — 2006. — № 55. — P. 2238-2244.
55. Yi X., Xu L., Hiller S., Kim H.S., Maeda N. Reduced alpha-lipoic acid synthase gene expression exacerbates atherosclerosis in diabetic apolipoprotein E-deficient mice // *Atherosclerosis*. — 2012. — Vol. 223 (1). — P. 137-143.
56. Ying Z., Kampfrath T., Sun Q., Parthasarathy S., Rajagopalan S. Evidence that  $\alpha$ -lipoic acid inhibits NF- $\kappa$ B activation independent of its antioxidant function // *Inflammation Research*. — 2011. — № 60. — P. 219-225.
57. Zhang Y., Han P., Wu N., He B., Lu Y., Li S., Liu Y., Zhao S., Liu L., Li Y. Amelioration of lipid abnormalities by  $\alpha$ -lipoic acid through antioxidative and anti-inflammatory effects // *Obesity (Silver Spring)*. — 2011. — № 19. — P. 1647-1653.
58. Zhang L., Zhang H.Y., Huang F.C., Huang Q., Liu C., Li J.R. Study on the clinical value of alprostadil combined with  $\alpha$ -lipoic acid in treatment of type 2 diabetes mellitus patients with erectile dysfunction // *European Review for Medical and Pharmacological Sciences*. — 2016. — Vol. 20 (18). — P. 3930-3933.
59. Zou J., Gan X., Zhou H., Chen X., Guo Y., Chen J., Yang X., Lei J. Alpha-lipoic acid attenuates cardiac hypertrophy via inhibition of C/EBP $\beta$  activation // *Molecular and Cellular Endocrinology*. — 2015. — № 399. — P. 321-9.
60. Zulkhairi A., Zaiton Z., Jamaluddin M., Sharida F., Mohd T.H., Hasnah B., Nazmi H.M., Khairul O., Zanariyah A. Alpha lipoic acid possess dual antioxidant and lipid lowering properties in atherosclerotic-induced New Zealand White rabbit // *Biomedicine and Pharmacotherapy*. — 2008. — Vol. 62 (10). — P. 716-722.

Надійшла до редакції 04.02.2019 р.

## ANALYSIS OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF ALPHA LIPOIC ACID IN PATIENTS WITH HIGH CARDIOVASCULAR RISK

L.V. Zhuravlyova, N.A. Lopina

**Abstract.** The article is devoted to the modern possibilities of using alpha-lipoic acid in high cardiovascular risk patients, including type 2 diabetes mellitus, which accelerates damage to the vascular wall and the development of atherosclerosis. Particular attention is paid to the role of oxidative stress, atherogenic dyslipidemia and endothelial dysfunction, the need for multifactorial pathogenetic therapy in the prevention and treatment of vascular complications is substantiated. The characteristics of the effects of alpha-lipoic acid on the metabolic processes in the body, its role in the antioxidant defense system, as well as its cytoprotective, angioprotector properties are systematically described. Based on evidence from evidence-based medicine, detailed schemes for the use of alpha-lipoic acid preparations are given, and the rationality of its use in combination therapy regimens is substantiated.

**Keywords:** alpha-lipoic acid, endothelial dysfunction, oxidative stress, atherosclerosis, high cardiovascular risk, diabetes mellitus.