

## АНТИОКСИДАНТЫ: ХИМИЧЕСКИЕ И МЕДИКО-БИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ

**Герман Константинович Будников**, доктор химических наук. Профессор, заведующий кафедрой аналитической химии Казанского государственного университета. Заслуженный деятель науки РФ и РТ. Область научных интересов: электроаналитическая химия, электрохимические сенсоры, биосенсоры, преподавание аналитической химии, история и методология химии. Академик Российской академии естественных наук. Награжден памятной медалью РАЕН “Автору научного открытия”, посвященной П.Л. Капице, “За фундаментальный вклад в области электроаналитической химии”.

**Гузель Камилевна Зиятдинова**, аспирант кафедры аналитической химии Казанского государственного университета. Область научных интересов: электрохимические методы анализа, биологически активные соединения, проблемы медицинской химии, биоаналитика.

Решение ряда проблем по профилактике заболеваний и охране здоровья человека в заметной мере связано с применением медикаментов, биодобавок, различных сборов природного происхождения, во многих из которых действующее начало относится к группе так называемых антиоксидантов.

Нам постоянно напоминают об антиоксидантах (в том числе и природного происхождения, то есть биоантиоксидантах) почти все средства массовой информации, призывая к необходимости их повседневного применения для профилактики заболеваний и преждевременного старения.

Интерес к этой группе соединений был проявлен в течение последних тридцати лет прошлого столетия. В конце XX века проблему, как и многие другие проблемы химической науки, стали обсуждать в рамках взаимосвязи структура – свойство – функция (прежде всего биологическая). И здесь для химика приобрела значение необходимость иметь знания о поведении объекта исследования в живом организме, а, следовательно, и сведения, имеющие прикладной характер из области практической медицины. Решение подобных задач требует уже усилий ряда специалистов, работающих в области так называемых наук о жизни, то есть биохимиков, биофизиков, фармхимиков. Однако химический аспект в деятельности медиков здесь очевиден (специалисты в области медицинской химии). Многие проблемы связаны с необходимостью количественного определения содержания биологически активных веществ в различных матрицах. Причем актуальными оказались не только сведения о содержании индивидуальных компонентов, выполняющих роль моделей поведения в живой клетке, или действующего начала в лекарственных формах, но и обобщенные пока-

затели, отражающие свойства исследуемой матрицы, содержащей это действующее начало, в целом, позволяющие, в частности, контролировать качество этих матриц (биоматериалов, фармпрепаратов, пищевых продуктов и т.д.).

Особенно возрос интерес исследователей к лекарственному растительному сырью, которое применяется в медицине для профилактики и лечения широкого круга заболеваний. Расширение спектра лекарственных препаратов и биологически активных добавок на основе природного растительного сырья приводит к необходимости разработки методов контроля биологической активности и степени воздействия экстрактов, содержащих основное действующее вещество, на живой организм, а также способов оценки качества получаемых препаратов на их основе. Таким образом, химия и медицина очень тесно переплетены.

Высокий интерес к органическим антиоксидантам неслучаен. Процессы так называемого свободнорадикального окисления в живом организме признаются как основные, вызывающие старение организма, развитие таких патологий, как ишемическая болезнь сердца, атеросклероз, катаракта, онкологические заболевания, вирус иммунодефицита человека и, наконец, запрограммированную гибель, то есть апоптоз.

В этих процессах существенную роль проявляют активные формы кислорода. Термин “активные формы кислорода” объединяет собственно свободные радикалы кислорода и их производные.

Активные формы кислорода – группа свободнорадикальных молекул, являющихся частично восстановленными производными кислорода и обладающих очень мощной окислительной способностью. Они, как правило, являются своего рода побочными продуктами работы дыхательной цепи – группы митохондриальных белков, утилизирующих кислород и непрерывно поставляющих клетке энергию в форме соединения, называемого аденозинтрифосфорная кислота (АТФ). Основным таким свободным радикалом является супероксид анион-радикал ( $O_2^{\cdot-}$ ). Сам по себе он не очень опасен, но легко превращается в пероксид водорода ( $H_2O_2$ ), который, в свою очередь, – в гидроксильный радикал ( $HO^{\cdot}$ ). В ходе других реакций с участием кислорода образуются пергидроксильный ( $HOO^{\cdot}$ ), а также алкоксильный ( $RO^{\cdot}$ ) радикалы. Будучи сильнейшими окислителями, эти соединения крайне опасны для клетки. Они повреждают белки, нуклеиновые кислоты и липиды клеточных мембран. “Всплеск” генерации свободных радикалов (например, при ишемии мозга) способен привести к тотальной гибели клеток и отмиранию больших участков ткани.

Известно, что свободные радикалы представляют собой реакционноспособные молекулы, имеющие короткий период жизни в зависимости от условий, в которых находятся. При  $37^{\circ}C$  в водной среде период полужизни супероксид анион-радикала кислорода составляет  $10^{-6}$  с, гидроксильного радикала –  $10^{-9}$  с, алкоксильного радикала –  $10^{-6}$  с, пероксильного радикала –  $10^{-12}$  с. Они постоянно образуются в ходе нормального метаболизма в клетках аэробных организмов.

Живые клетки непрерывно подвергаются воздействиям различных факторов экзогенного происхождения. К ним относятся химические загрязнители окружающей среды, действие ионизирующих излучений радионуклидов и другие экстремальные факторы, вызывающие окислительный стресс в организме вследствие формирования активных интермедиатов радикальной природы при восстановлении кислорода. Существуют и эндогенные источники свободных радикалов, связанные с окислением эндогенных субстратов (например, гемоглобина) и чужеродных веществ, с одноэлектронным восстановлением кислорода в дыхательной цепи митохондрий, респираторным взрывом фагоцитов. Побочными продуктами важнейших метаболических реакций с участием молекулярного кислорода являются активные формы кислорода, которые взаимодействуют с нерадикальными соединениями и образуют новые свободные радикалы.

Благодаря каскадности процесса образования свободных радикалов, они, несмотря на небольшой радиус их действия и короткое время полужизни, могут вызывать повреждение любых клеточных компонентов.

К эндогенным активным формам кислорода относятся, прежде всего, истинно радикальные соединения кислорода: супероксид анион- и гидроксильный радикалы, а также высоко агрессивные синглетный кислород и пероксид водорода.

Свободнорадикальное окисление, хотя и с очень малой скоростью, непрерывно протекает в норме в тканях живого организма с образованием активных продуктов: свободных радикалов, перекисных радикалов, гидроперекисей, альдегидов, кетонов – и сопровождается радикальной полимеризацией.

Токсическое действие продуктов окисления проявляется в инактивации сульфгидрильных групп белков, активации липаз, набухании, слипанию, а в некоторых случаях и в полном разрушении митохондрий. Происходит неспецифическое нарушение целостности и функционирования биологических мембран и как следствие нарушение клеточного метаболизма, а также процесса деления клеток.

### **Система антиоксидантной защиты организма человека и ее наиболее важные органические компоненты**

Интерес к исследованию соединений, которые способны предотвращать процессы свободнорадикального окисления в клетках, впервые проявили биофизики и физиологи. Позже к решению таких задач пришли химики. В результате их плодотворного сотрудничества мы сейчас имеем огромный массив информации об антиоксидантах, их функциях в живом организме, а благодаря химикам-синтетикам значительно расширен круг соединений этого типа.

Антиоксиданты – вещества различной химической природы, способные тормозить или устранять неферментативное свободнорадикальное окисление органических соединений различными формами кислорода. Биоантиоксиданты, подавляя свободнорадикальное автоокисление, регулируют степень влияния окисления на большинство метаболических процессов. Конечным итогом действия антиоксидантов является создание оптимальных условий для метаболизма и обеспечение нормального роста клеток и тканей.

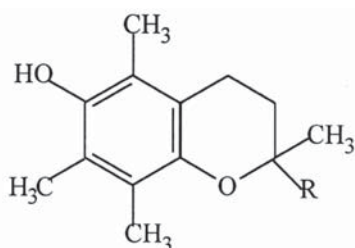
Биоантиоксиданты, функционирующие в живом организме, играют важную роль, защищая от неферментативного автоокисления биосубстраты, например легкоокисляющиеся липиды и, в частности, жиры и жирные кислоты мембранных образований клетки. Биоантиоксиданты являются необходимыми компонентами всех тканей и клеток живых организмов, в которых они в нормальных физиологических концентрациях поддерживают на низком стационарном уровне свободнорадикальные автоокислительные процессы. В норме расходование и пополнение антиоксидантами в тканях живых организмов сбалансировано.

Биоантиоксиданты – это, как правило, полифункциональные соединения, антиокислительная функция которых выражена в разной степени. Многие из них структурно относятся к ароматическим спиртам. В связи с этим различают антиоксиданты – соединения, основная биологическая функция которых определяется или связана с антиоксидантной активностью, например токоферолы, и вещества, обладающие антиоксидантным действием, биологическая функция которых не связана с антиокислительными свойствами, например, антибиотики, обладающие в первую очередь бактерицидными свойствами, но оказывающие также антиоксидантное действие.

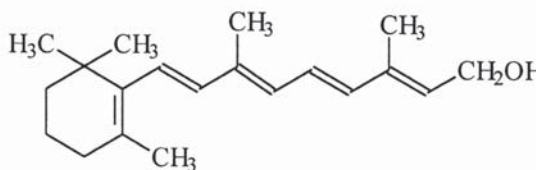
Индивидуальные биоантиоксиданты создают систему антиоксидантной защиты организма, определяющую антиоксидантную активность живых тканей.

К числу наиболее эффективных и широко распространенных относятся токоферолы (витамин E), ряд фенолов (эвгенол и его производные) и полифенолов (коницендрин, пирокатехин, производные галловой кислоты), флавоноиды (рутин, кверцетин), убихиноны, биогенные амины, некоторые стероидные гормоны, фосфолипиды, в том числе лецитин, кефалин. Сюда следует также отнести аскорбиновую, лимонную, никотиновую, дегидрокофеиновую и бензойную кислоты и их соли, серосодержащие аминокислоты (цистеин, глутатион), серотонин, адреналин, билирубин, белки крови, некоторые антибиотики.

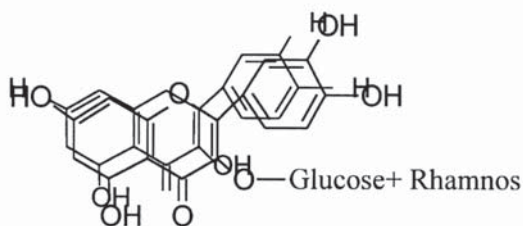
Структурные формулы наиболее важных антиоксидантов приведены ниже.



$\alpha$ -токоферол

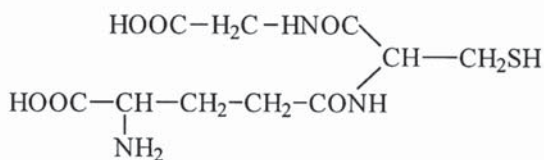


ретинол

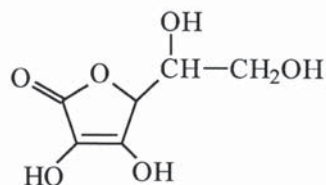


рутин

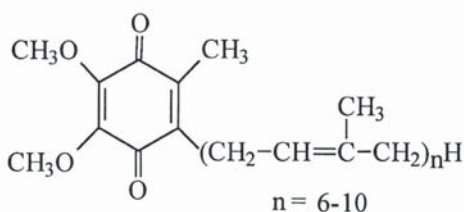
кверцетин



глутатион



аскорбиновая кислота



$n = 6-10$

убихинон

Система антиоксидантной защиты является одной из важнейших в ряду систем, направленных на поддержание целостности организма и химического постоянства внутренней среды.

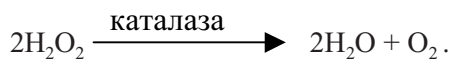
Перечень функций, выполняемых антиоксидантной системой, можно проиллюстрировать на примере человеческого организма. Как установлено, организм здорового взрослого человека за сутки прокачивает через легкие около 7200 л воздуха. Из этого объема безвозвратно изымается около 720 л кислорода на потребности основного обмена. Учитывая тот факт, что 1–3 % от потребляемого кислорода трансформируется в супероксидный анион-радикал ( $O_2^{\cdot-}$ ), годовая продукция этого токсиканта и родоначальника других форм кислорода (без учета специализированных механизмов их генерации) составляет около 2 кг. Причем в состоянии интенсивной физической нагрузки темп образования  $O_2^{\cdot-}$  может достигать 20-кратных значений.

Именно на нейтрализацию таких количеств  $O_2^{\cdot-}$  как основного представителя активных форм кислорода, а также его более разрушительных производных, например, гидроксильных радикалов, и нацелена в первую очередь система антиоксидантной защиты. Система эта включает различные факторы, способные как предотвращать образование свободных радикалов и инициирование ими цепных реакций, так и ликвидировать уже образовавшиеся субстанции этой природы.

Выделяют первичную и вторичную системы антиоксидантной защиты. Первичная включает витамины-антиоксиданты: А, С, Е; глутатион, мочевую кислоту, ферменты супероксиддисмутазу (СОД), каталазу, пероксидазы. В том случае, если эффективность первичной защиты недостаточна, последствия свободнорадикальной атаки устраняются под действием элементов вторичной антиоксидантной защиты: липолитических ферментов, протеаз, пептидаз, ДНК-репарировующих ферментов, эндо- и экзонуклеаз, лигаз.

Поскольку результатом деятельности СОД является интенсификация генерации пероксида водорода, то без соответствующего баланса между каталитическим разложением  $O_2^{\cdot-}$ , с одной стороны, и удалением  $H_2O_2$  – с другой, имело бы место усиление процессов окислительной деструкции в клетках.

Поэтому в клетках, вслед за дисмутацией супероксидных радикалов, удаление пероксида водорода также осуществляется посредством каталитического механизма. Наиболее известным примером такого катализатора является пероксисомальный фермент каталаза, действующий в соответствии со следующей схемой:



Среди ферментов каталаза является одним из наиболее активных, на что указывает число оборотов  $10^8$  в мин. Каталаза представляет собой железосодержащий, или гемовый, фермент. Отметим, что по сравнению с каталитическим разложением пероксида водорода простыми гидратированными ионами  $Fe^{3+}$  скорость реакции диспропорционирования  $H_2O_2$  в присутствии каталазы возрастает почти в  $10^8$  раз.

Отметим, что разложение  $H_2O_2$  осуществляется также и в ферментативном окислительно-восстановительном цикле, компоненты которого представлены глутатионом, глутатионпероксидазой (фермент негеминовой природы) и глутатионредуктазой.

Наряду с глутатионом в качестве компонентов системы антиоксидантной защиты организма от повреждающего действия радикалов кислорода выступают такие низкомолекулярные вещества, как аскорбиновая кислота, серосодержащие соединения (цистеин, липоевая кислота), токоферолы, каротиноиды и



др. Они имеют высокую константу скорости взаимодействия с этими радикалами. Защитный эффект низкомолекулярных антиоксидантов основан на том, что в результате их окисления активными формами кислорода образуются промежуточные радикалы и молекулы, которые химически гораздо менее активны, чем исходные радикалы.

Липоевая кислота участвует в окислительном декарбоксилировании пировиноградной кислоты и других  $\alpha$ -кетокислот и регулировании энергетических процессов в клетках, являясь незаменимым компонентом реакций углеводного и липидного обмена, а также метаболизма холестерина. Наличие тиоловых групп в молекуле придает липоевой кислоте свойства антиоксиданта. Она поддерживает в “рабочем состоянии” звенья клеточной антиоксидантной защиты.

Липофильные, или жирорастворимые биоантиоксиданты ( $\alpha$ -токоферол, ретинол, кальциферолы, убихинон) играют важную роль в защите липидных мембран клеток от действия активных форм кислорода, препятствуя развитию перекисного окисления липидов.

В перечисленных случаях антиоксиданты действовали в основном как ловушки радикалов. Существует, однако, и другая группа антиоксидантов, которые тоже снижают образование свободных радикалов, но совершенно другим способом: связывая ионы железа, которые участвуют в реакциях новообразования радикалов из перекисей как катализаторы. К таким соединениям относятся этилендиаминтетрауксусная и диэтилентриаминпентауксусная кислоты, ортофосфаты и особенно пирофосфаты, десферриоксамин (десферал) и некоторые другие комплексоны, которые не образуются в клетках живого организма, а попадают в них экзогенно.

Все отмеченное выше касается в основном клеточных систем. Во внеклеточной среде (плазме крови, например) антиоксидантные свойства сосредоточены в высокомолекулярной (белковой) части. В качестве белков-антиоксидантов в плазме крови могут выступать низкомолекулярный протеин альбумин и церулоплазмин, трансферрин, ферритин и другие. В перечень антиоксидантных белков включены и металлотионеины.

Альбумин как неспецифический компонент антиоксидантной системы плазмы крови обладает высокой эффективностью по обезвреживанию кислородных свободных радикалов, что сопровождается повреждением его отдельных аминокислотных остатков. Торможение процесса образования ОН-радикалов альбумином частично обусловлено наличием центров высокого сродства связывания металлов переменной валентности, что предотвращает их участие в свободнорадикальных реакциях.

Сывороточный альбумин обладает сильными антиоксидантными свойствами, проявление которых связывают с наличием серосодержащих функциональных групп. Он участвует в связывании таких металлов, как медь, цинк, железо и ртуть, подавляя их каталитическую активность и предотвращая тем самым реакции перекисного окисления липидов.

### **Антиоксидантный статус организма человека при патологических процессах**

В последнее время наблюдается заметный интерес к взаимосвязи между антиоксидантным статусом организма человека и различными типами патологий. Безусловно, в первую очередь это является целью клинических исследований, в которых методы химического анализа должны использоваться профессионально (медицинскими химиками и химиками-аналитиками). Необходимо отметить, что в настоящее время в мире существует область науки “биоаналитическая химия”, решающая проблемы медицины, биологии и биохимии с при-

менением методов аналитической химии. Поэтому сейчас стало нормой поведения химика-аналитика, который решает проблемы собственно анализа, например, антиоксидантов, оставаться активным членом всей команды – от синтетика до клинициста. И он должен проявлять профессиональный интерес к тому, что предшествует его работе, то есть медико-биологическим аспектам (при постановке задачи), сведениям о типах и патогенезе заболеваний и т.д.

Из материала предыдущего раздела следует, что в здоровом организме активные формы кислорода (супероксид и гидроксильные радикалы, а также пероксид водорода) играют важную роль во многих жизненно важных процессах. Они участвуют в биоэнергетических процессах, поддержании гомеостаза, окислении и детоксикации экзо- и эндогенных соединений, обладают микробоцидными свойствами, влияют на иммунитет. В норме в системе оксиданты – антиоксиданты сохраняется равновесие. Нарушение этого баланса в пользу оксидантов приводит к развитию так называемого оксидативного стресса, выражающегося в избыточной продукции активных форм кислорода, что вызывает повреждение белков, нуклеиновых кислот, ферментов, биомембран и, в конечном итоге, приводит к развитию патологических состояний.

Установлено, что окислительный стресс играет очень важную роль в патогенезе диабетических осложнений, потому что гипергликемия может быть причиной роста генерации свободных радикалов.

Процессы свободнорадикального окисления ответственны за эндотелиальные нарушения при эссенциальной гипертензии. Источником свободнорадикального окисления является циклооксигеназа, что доказано изучением эффектов от интра-брахиального введения витамина С – поглотителя свободных радикалов, и индометацина как ингибитора циклооксигеназы.

Закупорка артерий внутренних органов является причиной увеличения капиллярной проницаемости и повреждения клеток, ускоряемых свободнорадикальным окислением. Изучена роль отдельных поглотителей свободных радикалов в предотвращении ишемии и реперфузии внутренних органов. Установлено, что а-токоферол, таурин и селен улучшают микроциркуляцию во внутренних органах, делают возможным противостояние органов последствиям обширного капиллярного кровотечения и окислительного стресса.

Обнаружена взаимосвязь между интенсивностью перекисного окисления липидов и интегральной антиоксидантной емкостью сыворотки крови больных гиперхолестеролемией. С учетом возраста и пола пациентов установлено, что увеличение интенсивности окисления липидов влечет за собой существенное снижение общего антиоксидантного статуса, то есть наблюдается корреляция между этими двумя параметрами. Из вышесказанного следует, что антиоксидантная терапия может успешно применяться при диагностике и для поддержания баланса между свободнорадикальными и противоокислительными процессами, функционирующими в организме.

Многочисленные исследования последних лет показали, что свободнорадикальное окисление играет ключевую роль в патогенезе различных заболеваний легких (бронхиальной астмы, пневмонии, бронхитов и др.). Его особое значение проявляется при хронической обструктивной болезни легких. Общепринято, что основные факторы риска развития хронической обструктивной болезни легких – это курение, недостаточность  $\alpha_1$ -антитрипсина, воздействие вредных факторов окружающей среды (инфекции, пыли, газов).

Своевременное выявление и коррекция изменений свободнорадикального окисления во многих случаях помогают предотвратить развитие некоторых заболеваний.

Установлено, что свободные радикалы, особенно активные формы кислорода, активно воздействуют на геном человека, что приводит к развитию целого ряда наследственных заболеваний.

Убедительно показана роль перекисного окисления липидов в патогенезе нарушений функции почек различной этиологии. Гемолитико-уремический синдром можно рассматривать как клиническое проявление сильнейшего оксидантного стресса.

В здоровом организме, как отмечали выше, поддерживается баланс между свободными радикалами и антиоксидантами, которые защищают ткани и клетки. У пациентов, находящихся на гемодиализе, антиоксидантные механизмы ослаблены. С другой стороны, такие больные подвергаются воздействию прооксидантных токсинов, количество которых возрастает с каждой процедурой гемодиализа в связи с регулярной активацией фагоцитов вследствие взаимодействия крови с мембраной. Результатом этих процессов могут быть избыточная выработка и накопление свободных радикалов и прооксидантов. Исследования показали, что вкрапления витамина Е в диализную мембрану оказывают положительный терапевтический эффект. Эта оригинальная технология разработана с целью уменьшения окислительного стресса путем двойной стратегии: улучшения биосовместимости мембраны, в результате чего снижается активизация фагоцитов и генерация оксидантов; антиоксидантного действия вследствие элиминации окислителей и липидных пероксидов. Снижение оксидативного стресса у гемодиализных пациентов находит отражение и в отдаленных последствиях этой процедуры: в предотвращении повреждения мембраной эритроцитов (влияя на профиль анемии) и развитии различных патологий. Действие витамина Е направлено на защиту от перекисного окисления липопротеинов и липидов эритроцитарной мембраны, улучшение работы иммунной системы, предотвращение атерогенеза, ускоренного старения организма и анемии.

### **Оценка антиоксидантной емкости биологических жидкостей**

Эффективность функционирования системы антиоксидантной защиты организма является одним из параметров состояния организма человека и ее оценка важна, прежде всего, для практического врача как при диагностике заболеваний, так и для коррекции медикаментозной терапии. При этом определяют как отдельные маркеры антиоксидантной системы, например, липопротеины низкой плотности, восстановленный глутатион и т.д., так и суммарное содержание соединений определенного типа. Для решения задач такого типа необходима помощь профессиональных химиков (биохимиков и аналитиков), поскольку проблема может быть разрешена лишь в рамках химического анализа.

Литература последнего десятилетия показывает, что заметный интерес исследователей, работающих в области биологии и медицины и изучающих антиоксиданты, чаще всего направлен на способы определения индивидуальных природных антиоксидантов в биологических жидкостях и тканях. В основу методов определения положены свойства молекул антиоксидантов окисляться как в растворе, в присутствии окислителей, так и на поверхности электродов из материалов различной природы. Кроме того, как следует из структурных особенностей антиоксидантов, эти соединения обладают способностью поглощать свет в широкой области спектра и поэтому могут быть количественно определены методами спектроскопии.

Однако следует отметить, что в последнее время все большее внимание уделяется способам определения суммарного содержания антиоксидантов, которое можно рассматривать как общий показатель состояния объекта анализа, и оценке его антиоксидантной емкости (АОЕ), отражающей антиоксидантный статус организма.

Основным тестом в комплексной диагностике свободнорадикальной патологии служит биохемиллюминесценция биологических жидкостей и тканей,



характеризующая интенсивность свободнорадикального окисления тканевых липидов. Суммарная биохемилюминесценция может быть специфическим клиническим тестом только для отдельных патологий, для которых характерными являются ее интенсивность и форма кинетической кривой. Например, спонтанная биохемилюминесценция сыворотки крови усиливается при туберкулезе и ослабляется относительно нормы при раке легких.

До настоящего времени отсутствует строго определенная стандартная единица измерения интегральной АОЕ различных объектов. В зависимости от применяемого метода в литературе встречаются различные способы выражения АОЕ, вследствие чего возникают определенные трудности при сопоставлении полученных результатов. Интегральная АОЕ выражается либо в пересчете на индивидуальное соединение (например, кверцетин, рутин и т.д.), либо в абсолютных концентрациях и характеризуется числом кинетических цепей, которые могут оборваться единицей объема тестируемого объекта.

Процесс перекисного окисления липидов тесно связан с окислительно-восстановительным равновесием в тканях организма. Предложен способ косвенной редоксометрии для оценки окислительно-восстановительного равновесия организма, основанный на потенциометрическом определении изменения потенциала обратимой окислительно-восстановительной системы биологической пробы. Окислительно-восстановительная система содержит одновременно окисленную и восстановленную формы и окисляет легко окисляемые продукты биологической пробы. Скачок потенциала связан с окислительно-восстановительным равновесием исследуемой пробы.

Для оценки состояния системы антиоксидантной защиты организма проводят расчет антиперекисного индекса – отношение а-токоферола к содержанию малонового диальдегида.

Общая антиоксидантная активность плазмы крови может быть определена и по величине торможения перокисления липидов какой-либо модели. В качестве субстрата окисления в моделях используют эмульсию линолевой кислоты, суспензию липосом, мембраны эритроцитов, гомогенат мозга.

Существуют и другие физические и физико-химические методы оценки АОЕ.

Для оценки интегральной АОЕ биологических жидкостей может применяться гальваностатическая кулонометрия. Способ основан на взаимодействии образца с электрогенерированными соединениями брома. Последние способны вступать в реакцию с антиоксидантами по механизмам присоединения, замещения, окисления. Электрогенерированный бром дает возможность оценить не только содержание индивидуальных антиоксидантов, но и интегральную антиоксидантную емкость широкого круга объектов, в том числе биологической природы.

Электрогенерация активных форм кислорода, для которых антиоксиданты играют роль перехватчиков, дает возможность смоделировать реакции, которые протекают в живых клетках с участием антиоксидантов. Этот метод, как и метод гальваностатической кулонометрии, был разработан в Казанском государственном университете. При этом установлено, что величины АОЕ имеют достоверное различие для некоторых типов патологий.

### **Заключение**

Трудно очертить рамки проблемы, которая включает в себя поведение химических соединений с определенной биофункцией в живом организме, и в то же время требует разработки надежных способов контроля их содержания. Биоантиоксиданты как объекты анализа требуют подхода не только с позиций

биологии и медицины, но и физико-химии. На примере их исследований в последнее десятилетие видно, что только объединение усилий специалистов, деятельность которых протекает в рамках наук о жизни, может привести к результатам, имеющим практический выход. В настоящей статье не обсуждаются вопросы, которые в принципе решены и доведены до уровня технологий, например, применение биоантиоксидантов для повышения качества пищевых продуктов и увеличения срока сохранения их потребительских качеств. Однако и здесь без знания взаимосвязи строения и функции (проявления свойств) не обойтись. Появление на рынке готовых форм лекарственных и фармацевтических средств, а также биодобавок, направленных на нормализацию антиоксидантного статуса организма в целом, то есть профилактику заболеваний, является следствием научных исследований и разработок, которые проводились в течение ряда лет в медико-биологических, биохимических, клинических и т.д. лабораториях. Новое знание, которое в итоге было получено, стало достоянием общества, что еще раз иллюстрирует достижения в выполнении социальной функции науки.

Работа проводилась в рамках гранта АНТ № 07-7.3-176.

