

# Взаимосвязь потребления кислорода и динамики биохимических показателей крови спортсменов под влиянием физической нагрузки

Евдокимов Е.И.

*Классический приватный университет***Аннотации:**

Рассмотрены вопросы зависимости динамики метаболитов углеводного, липидного и азотистого обмена от показателей, характеризующих доставку и потребление кислорода во время физической нагрузки. В эксперименте принимали участие 19 студентов, занимающихся футболом. Установлено, что существует тесная взаимосвязь между активностью перекисного окисления липидов, максимального потребления кислорода, показателей функции внешнего дыхания и содержанием холестерина и свободных аминокислот.

**Євдокімов Є.І. Взаємозв'язок споживання кисню і динаміки біохімічних показників крові спортсменів під впливом фізичної навантаження.** Розглянуто питання залежності динаміки метаболітів вуглеводного, ліпідного та азотистого обміну від показників, що характеризують доставку і споживання кисню під час фізичного навантаження. В експерименті брали участь 19 студентів, які займаються футболом. Встановлено, що існує тісний взаємозв'язок між активністю перекисного окислення ліпідів, максимального споживання кисню, показників функції зовнішнього дихання і вмісту холестерину і вільних амінокислот.

**Yevdokimov E.I. Intercommunication of consumption of oxygen and dynamics of biochemical indexes of blood of sportsmen under the influence of the physical loading.** The questions of dependence of dynamics of metabolites of carbohydrate, lipids and nitrous exchange are considered from indexes, characterizing delivery and consumption of oxygen during the physical loading. 19 students, engaged in football, took part in an experiment. It is set that exists close intercommunication between activity of aqua oxidization of lipids, maximal consumption of oxygen, indexes of function of the external breathing and by maintenance of cholesterol and free amino acid.

**Ключевые слова:**

*физическая нагрузка, потребление кислорода, холестерин.*

*фізичне навантаження, споживання кисню, холестерин.*

*physical loading, consumption of oxygen, cholesterol*

**Введение.**

В настоящее время широко известным фактом является зависимость выносливости спортсменов от показателей функции внешнего дыхания, таких, как максимальная вентиляция легких, жизненная емкость легких, форсированная жизненная емкость легких, а также интегрального показателя – максимального потребления кислорода. [2]. Хорошо описана в литературе также последовательность изменений биохимических показателей в крови и мышцах под действием различных видов физической нагрузки [7]. В то же время, по нашему мнению, мало внимания уделено изучению взаимосвязи динамики метаболизма с показателями потребления кислорода. Роль холестерина в физиологии и патологии также является устоявшейся и общепринятой. В то же время, не до конца выявлены причины, когда и почему этот жизненно необходимый компонент становится участником фатального изменения метаболизма. В данном исследовании была предпринята попытка оценить взаимосвязь обмена веществ и кислорода в условиях физической нагрузки.

Данная работа выполнена в рамках научной темы «Теоретико-методические основы физического воспитания и физической реабилитации разных групп населения» номер гос. регистрации 0107U004193.

**Цель, задачи работы, материалы и методы.**

*Цель работы* – определение характера взаимосвязи показателей, характеризующих потребление кислорода с метаболизмом спортсменов при физической нагрузке.

*Методы исследования.* В эксперименте приняли участие 19 спортсменов, занимающихся футболом, средним возрастом 23,1±2,1 года, без признаков патологии. У спортсменов оценивались изменения некоторых показателей крови до и после стандартной

тренировочной нагрузки длительностью 90 минут, проводилась спирография и определение интегрального показателя - относительного максимального потребления кислорода (оМПК) путем выполнения стандартной велоэргометрической нагрузки мощностью 150 и 225 W по 5 минут [3,4].

С целью оценки биохимического статуса были выбраны наиболее доступные в практическом здравоохранении методики. Особенностью эксперимента являлась его временная зависимость от графика тренировочного процесса, а именно забор крови в 17.00 и 19.00. Поэтому исходные биохимические данные в определенной мере отличались от общеклинических стандартов, разработанных для условий контроля утром натощак. Для нас главную ценность представляла фиксация и анализ динамики изменений исследуемых параметров, поскольку патологические признаки у спортсменов отсутствовали.

Определение содержания гемоглобина и общего белка производилось унифицированными методами. Для оценки направленности биоэнергетических процессов определялся уровень глюкозы унифицированным глюкозоксидазным методом пировиноградной кислоты модифицированным методом Умбрайт, молочной кислоты методом Хохорста. Для оценки состояния азотистого обмена производилось определение мочевины по унифицированной методике с диацетилмонооксидом, креатинина методом Понкера с соавт., свободного аминного азота по методу Г.А. Узбекова в модификации З.С. Чулковой. О состоянии потребления и транспорта холестерина, судили по унифицированным методикам Илька, холестерина липопротеидов высокой плотности (ЛПВП, α-холестерина), липопротеидов низкой и очень низкой плотности (ЛПНП, β-липопротеидов) по Бурштейну и Самаю, видоизмененной нами в части увеличения длины оптического

пути и объема инкубационной смеси. О состоянии перекисного окисления липидов (ПОЛ) судили по определению диеновых конъюгатов, ДК (начальных) и веществ, реагирующих с тиобарбитуровой кислотой (ТБК-активных продуктов, ТБКАП) в плазме крови и в эритроцитарной массе [5]. Содержание ДК и антиоксиданта – витамина Е (-ТФ) определялось методом прямой спектрофотометрии [1]. При этом динамика изменений его концентрации в плазме говорила об общей насыщенности организма, в эритроцитах – о характере внутриклеточного потребления.

Полученные данные обрабатывались с применением критериев Стьюдента, Пирсона и Спирмена при помощи пакета программ Statistica 8.0.

#### Результаты исследования.

В результате анализа полученных данных мы констатировали следующее.

Работа проходила преимущественно в зоне большой и умеренной мощности, о чем свидетельствует рост уровня молочной кислоты как в плазме крови, так и в эритроцитах примерно в 2,3 раза. При этом наблюдались признаки наличия кислородного долга с анаэробизацией процессов энергопродукции, о чем свидетельствует тенденция к снижению концентрации в крови пировиноградной кислоты ( $p > 0,05$ ). В виде тенденции отмечалась мобилизация глюкозы, что нашло отражение в росте ее концентрации в плазме крови (табл.1).

Недостовверная тенденция к росту уровней гемоглобина и общего белка, вероятно, отражала процессы гемоконцентрации вследствие потерь воды. Увеличение уровня мочевины под влиянием физической нагрузки являлось, по нашему мнению, отражением интенсификации образования аммиака в мышечной ткани в результате двух групп процессов: анаэробного ресинтеза АТФ под действием аденилаткиназы из АДФ с последующим образованием под действием АМФдеаминазы инозинмонофосфата и ионов аммо-

ния, а также, на более поздних этапах, в результате окислительного дезаминирования аминокислот. Выходящий из мышечных клеток аммиак находится, как правило в связанной форме в виде глутамина и аланина, реже аспарагина, что проявляется в увеличении плазменной концентрации аминного азота [6]. Возрастание концентрации мочевины и аминного азота пропорционально степени утомления. Как следует из полученных данных, сразу после окончания физической нагрузки отмечалось значительное повышение (более чем в 2 раза,  $p < 0,001$ ) уровня свободных аминокислот, в то время, как изменения концентраций мочевины и креатинина носили недостоверный характер.

Нам не удалось зафиксировать статистически значимых изменений ДК и ТБКАП в плазме крови. В то же время, количество этих продуктов перекисного окисления липидов достоверно снижалось в эритроцитах. Основной причиной такого явления, на наш взгляд является перераспределение естественных антиоксидантов, прежде всего, - токоферола – снижение на треть в плазме ( $p < 0,05$ ) и повышение в два раза в эритроцитах ( $p < 0,001$ ). Можно предположить, что – токоферол перераспределяется в клеточном направлении из всех резервных ресурсов, при этом резко снижается интенсивность процессов ПОЛ в биомембранах, следовательно, отсутствует его избыточное поступление в системный кровоток. Кроме того, -токоферол является важным, но не единственным естественным антиоксидантом. В этой роли также выступают холестерин, достоверное увеличение потребления которого достоверно зафиксировано и группа гидрофильных антиоксидантов, из числа которых в нашем исследовании зафиксирован рост аминокислотных производных, выступающих в роли «тушителей» свободнорадикальных процессов благодаря наличию аминогрупп.

Изменения соотношения транспортных форм холестерина – ЛПВП и ЛПНП внутри группы были

Показатель	%изменения	P	Показатель	%изменения	P
Гемоглобин	+1,5	$p > 0,05$	Аминный азот плазмы	+113,7	$P < 0,001$
Общий белок	+3,4	$p > 0,05$	Общий холестерин	-30,7	$P < 0,05$
Глюкоза плазмы	+13,9	$p > 0,05$	Холестерин ЛПВП	+4,6	$p > 0,05$
Лактат плазмы	+138,1	$P < 0,001$	Холестерин ЛПНП	+4,0	$p > 0,05$
Пируват плазмы	-23,4	$p > 0,05$	ТБКАП плазмы	-2,4	$p > 0,05$
Глюкоза эритроцитов	+9,1	$p > 0,05$	ДК плазмы	-2,7	$p > 0,05$
Лактат эритроцитов	+133,6	$P < 0,001$	ТФ плазмы	-35,4	$P < 0,05$
Пируват эритроцитов	-4,4	$p > 0,05$	ТБК эритроцитов	-30,1	$P < 0,05$
Креатинин плазмы	-13,9	$p > 0,05$	ДК эритроцитов	-23,3	$P < 0,05$
Мочевина плазмы	5,1	$p > 0,05$	ТФ эритроцитов	101,7	$P < 0,001$

весьма вариабельными, что не позволило получить статистически достоверных данных.

В целом, картина биохимических изменений отражала традиционные представления, о механизмах энергообеспечения в тканях [8]. Исключением из общепринятых явилась динамика продуктов ПОЛ и - токоферола в эритроцитах(и, возможно, вообще во внутриклеточной среде). Однако, значительная вариабельность динамики некоторых параметров практически у всех спортсменов, вызвала необходимость провести анализ зависимости этих изменений от показателей, которые в определенной мере характеризуют потребление кислорода, который не только лимитирует аэробную энергопродукцию, но и является начальным необходимым фактором активации процесса ПОЛ. В качестве критериев для сравнения были выбраны показатели максимальной вентиляции легких (МВЛ), минутного объема дыхания (МОД), и относительного максимального потребления кислорода (оМПК). Такой выбор обусловлен соотношением между показателем возможной максимальной поставки кислорода и его максимального потребления. В нашем эксперименте уровень МВЛ составил  $152,3 \pm 3,25$  л/мин, оМПК –  $62,7 \pm 1,55$  мл/мин./кг. Это значит, что теоретически на протяжении короткого времени спортсмен в состоянии получить около 7500 мл кислорода в минуту (с учетом разницы кислорода во вдыхаемом и выдыхаемом воздухе), а потребить, с учетом средней массы тела – 4400 мл в минуту. Постоянно теоретически существующий избыток кислорода поддерживает протекание процессов ПОЛ, жизненно необходимых для различных процессов, в том числе трансформации мембран, фагоцитоза, свертывания крови и многих других. В условиях действия стресс-фактора, которым может являться гипердреналия, вызываемая физической нагрузкой, эти процессы значительно интенсифицируются, и выбор метаболического пути противодействия избыточному ПОЛ из всего существующего многообразия не в последнюю очередь лимитирует скорость наступления утомления и последующего восстановления. При нерациональной биохимической адаптации не исключены неблагоприятные последствия в долгосрочной перспективе.

В результате проведенного анализа в первую очередь, была отмечена высокая степень положительной коррелятивной связи между оМПК и снижением холестерина в сыворотке крови ( $p < 0,005$ ). Такая же связь была отмечена между оМПК и повышением уровня -токоферола в плазме крови ( $p < 0,05$ ), причем степень этого эффекта напрямую зависела от показателя МОД/МВЛ ( $p < 0,05$ ). Отрицательная коррелятивная связь была отмечена между показателями оМПК и первичных продуктов ПОЛ – диеновых конъюгатов (ДК), в эритроцитах,  $p < 0,05$ .

На наш взгляд, подобные взаимосвязи могут иметь следующее объяснение: чем сильнее у спортсмена развита доставка кислорода для выполнения длительной аэробной работы, тем в большей степени создаются условия для активации процессов ПОЛ в организме. Это подтверждается наличием достоверной

положительной коррелятивной зависимости между уровнем МВЛ и накоплением в эритроцитах конечных метаболитов ПОЛ – ТБК-активных продуктов ( $p < 0,05$ ). С целью противодействия перекисной алтерации, организм активизирует доставку к органам – токоферола-общепризнанного антиоксиданта, при этом увеличивается потребление клетками холестерина, который, во-первых, представляя собой гетероциклический спирт, может являться «ловушкой» для активных форм кислорода и свободных радикалов, а, во-вторых, немедленно включается в локализацию повреждений липидного слоя биомембран. В пользу таких допущений свидетельствует положительная коррелятивная связь между динамикой уровня -токоферола и холестерина ( $p < 0,05$ ), и отрицательная между уровнем - токоферола и уровнем ДК ( $p < 0,05$ ) в эритроцитах, что свидетельствует об эффективности описанных защитных механизмов. В реализации реакции антиоксидантной защиты активное участие принимают транспортные формы холестерина, о чем говорит наличие положительной коррелятивной связи между динамикой концентраций ЛПНП и ДК в эритроцитах ( $p < 0,02$ ) и отрицательной коррелятивной связи между уровнем ТБК-активных продуктов и липопротеидов высокой плотности (ЛПВП,  $p < 0,05$ ). Иными словами, результирующий вектор транспорта холестерина направлен к клеткам, испытывающим оксидантную нагрузку. Наличие отрицательной коррелятивной взаимосвязи оМПК и уровня ДК эритроцитов ( $p < 0,05$ ), позволяет предположить следующее: до момента срыва компенсации холестерин выполняет защитную функцию. В дальнейшем, в силу ряда причин, описываемых, как факторы риска развития холестериноза, защитная реакция трансформируется в дистрофическую, и стереотипный ответ организма в виде повышения концентрации холестерина и ЛПНП в ответ на оксидантный стресс фиксируется уже как проявление предпатологического состояния. Дополнительным компенсаторным механизмом является включение в систему антиоксидантной защиты организма спортсмена аминокислот, осуществляющих свою функцию в гидрофильных структурах. Об этом свидетельствует обнаруженная отрицательная коррелятивная связь между уровнем ТБК –активных продуктов и уровня аминного азота ( $p < 0,01$ ) и прямая корреляция между изменением концентраций ЛПВП и аминного азота ( $p < 0,05$ ). При длительной работе избыток аммиака выводится из мышечной ткани в виде аланина, глутамина, в меньшей степени аспарагина. Аминогруппы этих аминокислот выполняют роль «ловушек» активных форм кислорода, в результате чего снижается активность процессов ПОЛ, снижается потребность клеток в холестерине, который в виде ЛПВП начинает удаляться из клеток, что в долгосрочной перспективе, на наш взгляд, является проявлением более рациональной формы биохимической адаптации к физическим нагрузкам.

#### Выводы.

1. У высококвалифицированных спортсменов под влиянием физической нагрузки отмечается снижение уровня холестерина сыворотки крови. Степень

изменения прямо пропорциональна уровню оМПК спортсменов и не сопровождается динамикой соотношения транспортных форм – ЛПВП и ЛПНП, что дает возможность говорить о повышении потребления холестерина тканями, по-видимому в качестве компонента биомембран, подвергающихся действию оксидантной нагрузки. В отдаленной перспективе это может явиться пусковым толчком к избыточному потреблению тканями холестерина и развитию явления холестериноза.

2. У высококвалифицированных спортсменов под влиянием адекватной физической нагрузки не отмечается значительного накопления в плазме крови продуктов перекисного окисления липидов. В то же время, в эритроцитах, и, возможно, в других тканях, отмечается снижение количества продуктов перекисного окисления липидов, что связано с накоплением в них и липофильного антиоксиданта- токоферола за счет снижения его концентрации в плазме, и ростом концентрации гидрофильных продуктов с антирадикальным эффектом – аминного азота, что может рассматриваться как компенсаторная реакция на активацию процессов ПОЛ.
3. С возрастанием МВЛ и МПК напрямую связана динамика продуктов перекисного окисления липидов и потребления холестерина, что компенсируется снижением уровня ЛПНП и повышением количества ЛПВП, выводящих «деструктурированный» холестерин из поврежденных клеток. Значительный вклад в этот процесс вносят аминокислоты, уровень которых при физической нагрузке существенно повышается.
4. Степень мобилизации из депо – токоферола напрямую зависит от соотношения МОД / МВЛ. Из этого можно сделать допущение, что для адекватной антирадикальной защиты организма и проявления выносливости существенное значение имеет не толь-

ко тотальные значения показателей ЖЕЛ, ФЖЕЛ, МВЛ, но и показатель МОД. Чем в большей степени у спортсмена развито в состоянии покоя поверхностное, редкое дыхание, тем легче его антиоксидантные системы справляются при физической нагрузке с последствиями активации процессов ПОЛ. Этот факт диктует необходимость уделять должное внимание развитию в процессе тренировки навыков правильного дыхания с минимизацией потребления кислорода в условиях покоя.

Перспектива дальнейших исследований в этом направлении видится нам во внедрении в тренировочный процесс обучения спортсменов навыкам рационального дыхания. Будущие исследования позволят ответить на вопрос, в какой мере это может улучшить такое качество, как выносливость.

#### Литература

1. Биленко М.В. Ишемические и реперфузионные повреждения органов. / М.В. Биленко. – М.: Медицина, 1993. - 367 с.
2. Волков Н.И. Кислородный запрос и энергетическая стоимость напряженной мышечной деятельности человека. / Н.И. Волков, И.А. Савельев // Физиология человека, 2001. - Т.28.-№4. - С.80-93.
3. Евдокимов Е.И. Оценка информативности биохимических показателей в тренировочном процессе. / Е.И. Евдокимов, В.А. Голец // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту. – Харків, 2007. - №6. – С. 74-76.
4. Єльнікова М.В. Динаміка обміну ліпідів під впливом фізичного навантаження. / М.В. Єльнікова, Є.І. Євдокімов // Педагогіка, психологія та медико-біологічні проблеми фізичного виховання і спорту. Науковий журнал 2010. - №7. - С. 35-40.
5. Лабораторные методы исследования в клинике: Справочник. / Под ред. Меньшикова. - М.: Медицина. 1987. - 368 с.
6. Метаболизм в процессе физической деятельности / Под ред. Харгривса М. - К.: Олимпийская литература, 1998.
7. Connet R.S. Defining hypoxia: a systems view of  $VO_2$ , glycolysis, energetics and intracellular  $PO_2$ . / Connet R.S., Honig C.R., L Hayeski T.E.S., Brooks L.A. // Journal Application Physiology. 1990. – Vol.68. - P. 833-842.
8. Fuuk C.I. A simple model of aerobic metabolism: application to work transitions in muscle. / Fuuk C.I., Clark A.Jz., Connet R.S. // American Journal Physiology. 1990. – Vol. 258. - P. 995-1005.

Поступила в редакции. 28.04.2011г.  
Евдокимов Евгений Иванович  
fizreab@mail.ru