

ОСОБЕННОСТИ ОКСИДАТИВНЫХ ПРОЦЕССОВ У СПОРТСМЕНОВ-КОНЬКОБЕЖЦЕВ

Т.В. Маюрова

Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск

При анаэробных тренировках у конькобежцев выявлено увеличение активности ксантинооксидазы, что опережает усиление липопероксидации и карбонилирования белков и позволяет рассматривать этот фермент как ранний маркер окислительного стресса. В динамике анаэробных тренировок отмечена тенденция к снижению величины мембраносвязанного гемоглобина, наблюдается дополнительное усиление свободно-радикального окисления в органах и тканях.

Ключевые слова: окислительный стресс, спортивная форма, конькобежцы, спринтеры.

Системы транспорта кислорода обеспечивают его поступление в кровь, диффузию через аэрогематический барьер в кровь, связывание с гемоглобином, перенос к тканям с последующей утилизацией в электрон-транспортных путях митохондрий и эндоплазматического ретикула. По мере активации тканевого дыхания усиливается и свободно-радикальное окисление, так как определенная часть кислорода подвергается неполному восстановлению, что приводит к генерации активных форм кислорода. Поэтому интенсивная физическая нагрузка сопровождается усилением ПОЛ и окисления белков. Данные процессы развиваются поэтапно и их своевременная диагностика может улучшить мониторинг спортивной формы. С этой целью необходим поиск ранних маркеров окислительного стресса. В качестве таковых представляется перспективным использовать высокочувствительные к гипоксии параметры. Этому критерию хорошо соответствует ксантинооксидаза. Поэтому мы изучали соотношение между активностью ксантинооксидазы и других маркеров окислительного стресса на отдельном этапе тренировочного мезоцикла у спортсменов-спринтеров. Исследование выполнено на 24 добровольцах-конькобежцах. Среди них 10 спортсменов имели квалификацию 1-го разряда, 14 спортсменов имели квалификацию кандидатов в мастера спорта и мастера спорта. Для биохимических исследований кровь забирали из вены в утренние часы натощак. Все спортсмены проходили обследование печени на УЗИ. В крови определяли показатели тимоловой пробы, концентрацию общего, непрямого и прямого билирубина. Для оценки уровня свободно-радикального окисления в сыворотке крови определяли содержание окислительно-модифицированных белков по Е.Е. Дубининой [1], молекулярных продуктов ПОЛ по И.А. Волчегорскому [3]. Оценка статистически значимых различий осуществлялась с помощью

непараметрических критериев (*U*-критерия Вилкоксона – Манна-Уитни; *W*-критерия Вальда-Вольфовица, λ одностороннего критерия Колмогорова-Смирнова). Для обработки результатов исследований использовали пакет прикладных программ «Statistica 6.0 for Windows». В летний период на протяжении 3 недель проводился специальный тренировочный мезоцикл, в ходе которого происходило чередование аэробных и анаэробных нагрузок. Всего было выполнено 6 тренировок, из них 3 имели аэробную и 3 анаэробную направленность тренировочного процесса. Установлено, что тренировки аэробной направленности характеризовались снижением мощности прооксидантных и увеличением мощности антиоксидантных систем в эритроцитах. Это проявлялось в снижении активности ксантинооксидазы после завершения 1-й тренировки и увеличении активности каталазы после завершения 3-й тренировки. О повышении мощности антиоксидантных систем в эритроцитах свидетельствует повышение уровня Fe^{2+} аскорбатиндуцированного ПОЛ после завершения 2-й тренировки, что характеризует увеличение окисляемости полиарных липидов и свидетельствует об эффективности работы антиоксидантных систем эритроцитов. Вследствие этого отмечено снижение уровня липопероксидации в эритроцитах. Это проявлялось в снижении содержания изопротанол растворимых диеновых конъюгатов после завершения 2-й и 3-й тренировки. При 1-й анаэробной тренировке наблюдалось увеличение активности фермента ксантинооксидазы. При этом уровень липопероксидации и уровень карбонилирования белков не отличались статистически значимо от контроля. После завершения 2-й анаэробной тренировки наблюдалось повышение липопероксидации на фоне повышенного уровня ксантинооксидазы. При 3-й анаэробной тренировке на фоне повышенного уровня ксантинооксидазы наблюдалось

усиление липопероксидации и карбонилирования белков. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что увеличение активности ксантиноксидазы опережает усиление липопероксидации и карбонилирования белков, что позволяет рассматривать этот фермент как ранний маркер окислительного стресса. По данным обобщенной выборки аэробные тренировки по сравнению с анаэробными характеризуются более низким уровнем мембраносвязанного гемоглобина. Тем не менее в динамике анаэробных тренировок прослеживается тенденция к снижению величины мембраносвязанного гемоглобина. Так, после завершения 2-й анаэробной тренировки по сравнению с 1-й анаэробной тренировкой значение этого показателя снизилось почти в 3 раза ($P = 0,0043U$). Уровень мембраносвязанного гемоглобина оставался пониженным и после завершения 3-й анаэробной тренировки ($P = 0,018U$). При этом содержание общего гемоглобина в эритроцитах оставалось неизменным в течение всего мезоцикла. При аэробной направленности тренировочного процесса содержание мембраносвязанного гемоглобина осталось неизменным. Увеличение содержания мембраносвязанного гемоглобина может быть связано с более высоким уровнем липопероксидации в эритроцитарных мембранах при анаэробных тренировках конькобежцев-спринтеров. В анаэробных условиях наблюдается дополнительное усиление свободно-радикального окисления в органах и тканях. Данное положение на первый взгляд кажется парадоксальным, так как снижается потребление кислорода, являющегося источником свободных радикалов. Однако при гипоксических ситуациях увеличивается неполное восстановление кислорода (одноэлектронное, двухэлектронное, трехэлектронное) и вследствие этого увеличивается продукция свободных радикалов. В эритроцитах свободные радикалы вызывают усиление липопероксидации фосфолипидов и увеличение окисления белков цитоскелета и гемоглобина. В свою очередь, это приводит к образованию мембраноассоциированного гемоглобина.

При обсуждении полученных результатов следует принять во внимание то, что по уровню Fe^{2+} /аскорбат-индуцированного ПОЛ возможно дать интегральную оценку эффективности антиоксидантных систем. Данное положение основывается на общепризнанном факте о ненасыщенных ацильных радикалах как основных субстратах перекисления. Соответственно, мощность антиоксидантной защиты клетки определяется уровнем окисляемости, отражающим «экранирование» ненасыщенных связей в липидах. Поэтому факт усиления Fe^{2+} /аскорбат-индуцированного ПОЛ в эритроцитах у пациентов с делирием характеризует увеличение эффективности антиоксидантных систем. О значимости активации антиоксидантных систем эритроцитов в условиях алкогольного де-

лирия свидетельствует положительная корреляция между содержанием изопробанол-растворимых шиффовых оснований и концентрацией метгемоглобина в эритроцитах ($R_s = 0,606$; $P = 0,047$), а также положительная корреляция между содержанием мембраносвязанного гемоглобина и гептан-растворимых шиффовых оснований ($R_s = 0,468$; $P = 0,005$). Известно, что данная разновидность гемоглобина находится в составе везикул, сформированных из компонентов эритроцитарной мембраны. Основной причиной формирования мембранных везикул эритроцитов является оксидативный стресс, который может сформироваться как в результате действия экстремальных факторов, так и в ходе естественного старения эритроцитов. В настоящее время установлено, что в результате дестабилизации мембран эритроцитов формируются везикулы, содержащие гемоглобиновые агрегаты, а также белок третьей полосы, спектрин и некоторые каспазы [4]. Вероятно, мембраносвязанный гемоглобин может формироваться в результате интенсификации свободно-радикального окисления [2]. Так мембраносвязанный гемоглобин способствует появлению окислительных модификаций белка третьей полосы и спектрина и переокисление фосфолипидов через Ca^{2+} – зависимую липоксигеназу. В настоящее время появились данные, свидетельствующие о причастности мембраносвязанного гемоглобина к формированию «сигналов смерти» в эритроцитах. Особенно важно, что появление мембраносвязанного гемоглобина включает аутоиммунные механизмы разрушения эритроцитов, опосредованные через IgG и, возможно, через C3 фракции системы комплемента. В свою очередь, мембраносвязанный гемоглобин потенцирует эритрофагоцитоз, облегчая связывание с CD36 рецептором макрофагов. Кроме того, индукция оксидативного стресса в эритроцитах сопровождается активацией каспаз 3 и 8. Важно отметить, что увеличение уровня белковых карбонильных групп является стимулом для удаления эритроцитов из кровотока. Окисление полипептидов сопровождается образованием белковых агрегатов за счет межмолекулярных связей либо фрагментацией белков с расщеплением на более низкие фрагменты. Такие измененные белковые структуры становятся более чувствительны к протеолитической деградации. Поэтому накопление в эритроцитах карбонилированных белков может быть обусловлено низкой активностью протеаз, обеспечивающих деградацию белков. Важно отметить роль недостаточности антиоксидантной защиты и прежде всего ее тиолового звена в образовании белковых агрегатов. В условиях дефицита восстановленного глутатиона воздействие активных форм кислорода может способствовать образованию спектрин-гемоглобиновых ассоциатов. Повышенное связывание гемоглобина и продуктов его катаболизма с различными белками мембраны эритроцитов может

Краткие сообщения

изменить нормальную структуру и функцию мембраны. В связи с этим уместно обратить внимание на то, что количественное соотношение морфологических форм эритроцитов может зависеть от содержания и состояния гемоглобина. Изменение концентрации гемоглобина в эритроцитах приводит к возрастанию жесткости мембраны и увеличению числа трансформированных форм эритроцитов.

Литература

1. Окислительная модификация белков сыворотки крови человека, метод ее определения / Е.Е. Дубинина, С.О. Бурмистров, Д.А. Ходов и др. // *Вопр. мед. химии.* – 1995. – № 41. – С. 24–26.
2. Спектрофотометрическое определение конечных продуктов перекисного окисления липидов / Е.И. Львовская, И.А. Волчегорский, С.Е. Шемяков, Р.И. Лифшиц // *Вопр. мед. химии.* – 1991. – № 4. – С. 92–94.
3. Экспериментальное моделирование и лабораторная оценка адаптационных реакций организма / И.А. Волчегорский, И.И. Долгушин, О.Л. Колесников, В.Э. Цейликман. – Челябинск, 2000. – 167 с.
4. RBC-derived vesicles during storage: ultrastructure, protein composition, oxidation and signaling components / A.G. Kriebardis, M.H. Antonelou, K.E. Stamoulis et al. // *Transfusion.* – 2008. – № 9. – P. 1943–1953.

Поступила в редакцию 19 апреля 2012 г.