

БИОЛОГИЧЕСКИЕ НАУКИ

УДК 636.2.084:611.3

**А. Я. РЯБИКОВ
Н. М. ОКТЯБРЕВ**

Институт ветеринарной медицины
и биотехнологии
Омского государственного
аграрного университета
им. П. А. Столыпина

ПИЩЕВАРЕНИЕ В РУБЦЕ БЫЧКОВ ЧЕРНО-ПЕСТРОЙ ПОРОДЫ В 6-МЕСЯЧНОМ ВОЗРАСТЕ

В статье описываются степени переваривания углеводов (целлюлозы), белков (клеяковины) и количественный состав инфузорий в рубце бычков черно-пестрой породы в 6-месячном возрасте. Особенностью рубцового пищеварения является переваривание углеводов и белков за счет симбионтной микрофлоры — бактерий, инфузорий и микроскопических грибов. Данная статья содержит методические указания, которые позволяют изучать переваривание углеводов (целлюлозы), переваривание белков (клеяковины) в рубце у жвачных животных и определять количественный состав инфузорий рубцового содержимого. На основании обработки полученных цифровых данных за 24 часа суточный целлюлолиз в среднем составляет 0,110 г — это 23,6 % от инкубируемой массы целлюлозы, суточный протеолиз в среднем составляет 0,0715 г — это 19,22 % от инкубируемой массы клейковины, и количество инфузорий составляет 1325362 в 1 мл.

Ключевые слова: переваривание углеводов (целлюлозы), белков (клеяковины), рубец, инфузории, симбионтная микрофлора.

Пища животных состоит из органических веществ, большая часть которых относится к трем главным группам соединений — к белкам, жирам и углеводам. Молекулы белка очень крупные, молекулы

жира не растворимые в воде, а молекулы крахмала и целлюлозы и крупные и не растворимые в воде. Элементы пищи в желудочно-кишечном тракте должны быть переведены в растворимое состояние и

расщеплены на более мелкие составные части, доступные для всасывания в кровь и лимфу [1, 2].

Желудок жвачных животных состоит из четырех отделов — рубца, сетки, книжки и сычуга. Из них только сычуг имеет пищеварительные железы, которые вырабатывают пищеварительные ферменты и соляную кислоту. Первые же три отдела не имеют пищеварительных желез [3–5].

Актуальной задачей науки и практики животноводства является разработка физиолого-биохимических основ кормления и изучения переваривания питательных веществ в желудочно-кишечном тракте у животных в возрастном аспекте [6].

Если переваривание белков, жиров и углеводов у человека и моногастричных животных происходит в желудке и тонком кишечнике за счет ферментов желудочного, поджелудочного и кишечного соков, то у жвачных животных их переваривание происходит главным образом в рубцово-сетковой полости путем бродильных процессов за счет ферментов симбионтных микроорганизмов (бактерии, инфузории и грибы), затем в сычуге и в тонком отделе кишечника под действием ферментов, синтезируемых железами сычуга, поджелудочной железы и кишечника [7, 8].

Симбиоз (гр. symbiosis — сожительство) — такой тип пищеварения, при котором происходит снабжение организма хозяина необходимыми питательными веществами, пригодными к всасыванию и ассимиляции, за счет гидролиза углеводов, белков и жиров, который осуществляют симбионты — бактерии, простейшие и грибы [9].

В рубцово-сетковой полости пища подвергается сложным процессам брожения под действием ферментов разнообразных микроорганизмов — бактерий, инфузорий и микроскопических грибов. В рубцово-сетковой полости создаются оптимальные анаэробные условия для роста, развития и размножения микрофлоры: достаточное увлажнение, нейтральная или слабощелочная среда, избыток пищи, оптимальная температура (38–39 °C), интенсивное измельчение грубого корма за счет пережевывания и перемешивания содержимого, что обеспечивает обсеменение принятой пищи микрофлорой и создает равнозначные условия во всех участках пищевой массы [10].

Бактерии, инфузории и грибы, населяющие желудочно-кишечный тракт копытных животных, многочисленны и разнообразны. У жвачных животных (крупный рогатый скот, овцы, козы, косули, антилопы, олени, лоси) эти микроорганизмы в огромных количествах населяют передние отделы желудка (преджелудки) [11–13].

Что касается инфузорий, то их насчитывается около 200 видов, в 1 мл содержимого рубца — до 2 млн инфузорных тел, а их общая масса равна примерно 1/20 массы рубца. Длительность жизни инфузорий составляет от 6 до 54 часов. За сутки они дают 4–5 поколений.

На популяцию микроорганизмов в рубце оказывают влияние состав и структура кормов, способ кормления, физиологическое состояние животного, его возраст и другие факторы [14].

Значение микроорганизмов не ограничивается только расщеплением растительных кормов. Микроорганизмы, кроме того, в процессе жизнедеятельности размножаются и синтезируют белки собственного тела, разнообразные витамины, летучие жирные и другие кислоты, газы. Микроорганизмы, передвигаясь с растительной пищей из преджелудков в сычуг, под действием соляной кислоты в сычуге

погибают и вместе с пищей подвергаются гидролизу в результате ферментативной деятельности сычужного сока.

Белок микроорганизмов (бактерий, инфузорий, микроскопических грибов) — это белок животного происхождения, он является полноценным, так как содержит незаменимые аминокислоты. Таким образом, из растительной пищи, которой питаются жвачные животные, в рубцово-сетовой полости получается в значительной мере высококачественный корм животного происхождения [15–18].

Поэтому при изучении пищеварения у жвачных животных наиболее важными показателями являются процессы переваривания углеводов (клетчатки) — целлюлолиз, переваривания белков — протеолиз и количественный состав инфузорий.

Целью исследования явилось изучение целлюлолиза, протеолиза и подсчет количества инфузорий в единице объема содержимого рубца у бычков черно-пестрой породы в 6-месячном возрасте.

Объекты и методы исследования. Исследования проводились на базе СибНИИСХоза в ОПХ «Омское». Четырем бычкам черно-пестрой породы в возрасте 4 месяцев в области левой голодной ямки на рубец были наложены оперативным путем фистулы [19]. Опыты начали проводить в октябре 2010 г., после заращения хирургических ран.

Целлюлолитическую активность симбионтной микрофлоры изучали следующим методом. Через фистулы в полость рубца вводились контейнеры с навесками воздушно-сухой целлюлозы в виде фильтровальной бумаги, для этой цели применяли обеззоленные бумажные фильтры диаметром 12,5 см, которые разрезали пополам и гофрировали. Навески целлюлозы высушивали до воздушно-сухого состояния, масса их составляла от 0,342 до 0,500 грамма. Через сутки (24 часа) контейнеры с навесками целлюлозы извлекали из рубца, промывали в дистиллированной воде, высушивали в сушильном шкафу при температуре 95 °C до постоянной массы. По разнице массы целлюлозы до и после инкубации определяли убыль массы целлюлозы, и затем в абсолютных данных в граммах и процентах убыли устанавливали целлюлолиз у телят.

Определение протеолитической деятельности симбионтной микрофлоры, проводили путем разработанного А. Я. Рябиковым и А. Н. Симикиным «Способа определения протеолиза в желудке жвачных животных» метода прямого протеолиза (А. с. № 1687257, 1991 г.) [20]. Проводилось взвешивание воздушно-сухой навески клейковины, которую помещали в мешочки, изготовленные из лавсана, после чего их закладывали через фистулу в полость рубца на одинаковую глубину (20 см). Через сутки извлекали навески, промывали в дистиллированной воде, высушивали в сушильном шкафу при температуре 95 °C и по убыли клейковины судили об интенсивности протеолиза.

Количественный состав инфузорий определяли следующим образом. При помощи перфорированной трубки из нержавеющей стали с резиновой спринцовкой на конце, из одного и того же места и одинаковой глубины (30 см), через фистулу из рубцовой полости брали жидкую фракцию рубцового содержимого в объеме 250 мл. Полученное рубцовое содержимое помещали в отдельную для каждого животного полиэтиленовую емкость. Исследования проводили в лаборатории ИВМ, на кафедре физиологии. Рубцовое содержимое процеживали через 4–6 слоев марли, после чего процеженное рубцовое

Таблица 1

Показатели пищеварения в рубце бычков черно-пестрой породы ($X \pm Sx$)				
Количество животных				
4				
Количество взятых проб				
40				
Убыль массы клейковины		Убыль массы клетчатки		Количество инфузорий в 1 мл
г	%	г	%	
0,0715±0,006	19,22	0,110±0,003	23,6	1325362

содержимое консервировали 4 % раствором формальдегида из расчета 1:10. Полученный объем матрикса еще раз процеживали через слой марли и глазной пипеткой каплю необходимого объема вносили в счетную камеру Горяева.

Подсчет инфузорий проводили под микроскопом PZO Warszawa (окуляр $\times 5$, объектив $\times 40$) в камере Горяева, в 1 мл методом подсчета лейкоцитов в 100 больших квадратах.

Число инфузорий в 1 мл подсчитывали по формуле, применяемой при подсчете лейкоцитов:

$$X = \frac{K \times 4000 \times 10}{1600} \times 1000,$$

где X — число инфузорий в 1 см^3 ,

K — число инфузорий, подсчитанных в 100 больших квадратах,

4000 — число объемов, необходимое для получения 1 мм^3 ,

10 — степень разведения,

1600 — число маленьких квадратов,

1000 — мм^3 в 1 см^3 .

Подсчет инфузорий производили, используя смеситель (меланжер) для подсчета лейкоцитов. До метки 0,5 набирали процеженную через 4–6 слоев марли жидкую часть содержимого рубца, а затем до метки 11 — 4 % раствор формальдегида. Первые две капли из смесителя вносили на вату, а следующую каплю — в счетную камеру Горяева.

Рацион подопытных бычков состоял из: сена кострецового 2 кг, сенажа 5 кг, концентратов 1,5 кг, патоки 0,5 кг, моноаммонийфосфата 20 г, соли поваренной 30 г. В рационе содержалось: ЭКЕ 5,1, переваримого протеина 447,5 г, сахаров 429 г, кальция 35,5 г, фосфора 20,5 г, каротина 160 мг.

Результаты исследований. В данной серии экспериментов использовались четыре фистульных животных в возрасте 6 месяцев. На каждом животном поставлено 10 опытов. При этом учитывали массу целлюлозы и клейковины до инкубации и после суточной инкубации. По разности массы целлюлозы и клейковины в воздушно-сухом состоянии до и после инкубации была установлена убыль массы клейковины в граммах и в процентах.

На основании обработки полученных цифровых данных навесок целлюлозы установлено (табл. 1), что за 24 часа инкубации навески целлюлозы под действием ферментов симбионтной микрофлоры убывали на $0,110 \pm 0,003$ г, или на 23,6 %.

На основании обработки полученных цифровых данных навесок клейковины за 24 часа инкубации масса клейковины убывала в среднем на $0,0715 \pm 0,006$ г или на 19,22%, что свидетельствует о достаточно активном гидролизе микрофлорой рубцовой полости бычков воздушно-сухих навесок клейковины.

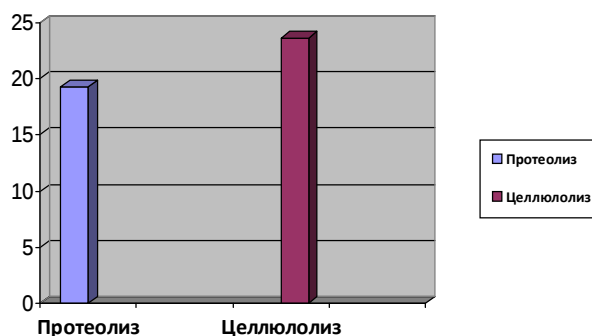


Рис. 1. Целлюлолиз и протеолиз у бычков черно-пестрой породы в 6-месячном возрасте

Что касается подсчета количества инфузорий, то было установлено, что в шестимесячном возрасте бычков количество инфузорий в рубцовом содержимом составляет 1 325 362 в 1 см^3 .

Выводы

1. Суточный целлюлолиз (за 24 часа) в среднем составляет 0,110 г — это 23,6 % от инкубируемой массы целлюлозы, суточный протеолиз (за 24 часа) в среднем составляет 0,0715 г — это 19,22 % от инкубируемой массы клейковины (рис. 1), при этом количественный состав инфузорий составляет 1 325 362 в 1 мл.

2. Для исследования протеолитической активности симбионтной микрофлоры наиболее подходящим является использование в качестве аналога белковой пищи жвачных животных клейковины — белкового вещества, содержащегося в зерне злаковых культур. Она идеально подходит для экспериментов, не требует больших усилий и материальных затрат в получении, легко применяется в исследованиях.

3. Для исследования целлюлолитической активности рубцовой микрофлоры в рубцово-сетчатой полости жвачных животных наиболее подходящим в качестве аналога целлюлозы растительного корма является фильтровальная бумага.

Библиографический список

1. Проссер, Л. Сравнительная физиология животных. В 2 т. Т. 1 / Л. Проссер. — М.: Мир, 1977. — 606 с.
2. Шмидт-Нильсен, К. Физиология животных. Приспособление и среда. Кн. 1. / К. Шмидт-Нильсен. — М.: Мир, 1982. — 416 с.
3. Нормы и рационы кормления сельскохозяйственных животных: справочное пособие. / Под ред. А. П. Калашникова,

В. И. Фисинн, В. В. Щеглова, Н. И. Клейменова. — 3-е изд., перераб. и доп. — М., 2003. — 456 с.

4. Шевелев, Н. С. Морфофункциональные особенности слизистой оболочки рубца жвачных животных / Н. С. Шевелев, А. Г. Грушкин // Сельскохозяйственная биология. — 2003. — № 6. — С. 15–22.

5. Jouany, J. P. Role de l'écosystème du rumen dans la digestion des aliments chez le ruminant. C. R. Acad. Agr. Fr., 1998, Vol. 84. — № 1. — Р. 121–134.

6. Алиев, А. А. Обмен веществ у жвачных животных / А. А. Алиев. — М.: Инженер, 1997. — 419 с.

7. Пивняк, И. Г. Микробиология пищеварения жвачных / И. Г. Пивняк, Б. В. Тараканов. — М.: Колос, 1982. — 274 с.

8. Долгов, И. А. Влияние аминокислот на протеолитическую активность микроорганизмов рубца жвачных / И. А. Долгов, Б. В. Тараканов // Физиология и биохимия белкового питания сельскохозяйственных животных: научные труды. — Том XIII. — Боровск, 1974. — С. 241–248.

9. Тараканов, Б. В. Физиологическая роль микробиоты в рубцовом пищеварении (обзор) / Б. В. Тараканов // Сельскохозяйственная биология. — 2005. — № 6. — С. 9–13.

10. Шевелев, Н. С. О морфофункциональных особенностях микробиоты рубца жвачных животных и роли целлюлозолитических бактерий в рубцовом пищеварении / Н. С. Шевелев, А. Г. Грушкин // Сельскохозяйственная биология. — 2008. — № 2. — С. 12–19.

11. Dehority B A., Grubb J. Bacterial population adherent to the epithelium of the roof of the dorsal rumen in sheep. Appl. and Environ. Microbiol., 1981, Vol. 41, № 6. — Р. 1424–1427.

12. McCowan R.P., Cheng K.-J., Costerton J.W. Adherent bacterial populations on the bovine rumen wall: distribution patterns of adherent bacteria. Appl. and Environ. Microbiol., 1980, Vol. 1. — Р. 233–241.

13. Zitnan R., Bomba A., Kolodzieyski L. e.a. Scanning electron microscopical studies into the development of rumen epithelium and adherent bacteria in suckling lambs. Folia Veter. Kosice, 1994, Vol 38, № S. — Р. 51–56.

14. Тараканов, Б. В. Нормальная микрофлора преджелудков жвачных / Б. В. Тараканов // Сельскохозяйственные животные, физиологические и биохимические параметры организма. — Боровск, 2002. — С. 259–334.

15. Бергер, Х. Научные основы питания с.-х. животных / Х. Бергер, Х.-А. Кетц; пер. с нем., к. с.-х. н. А. М. Холманова. — М.: Колос, 1973. — С. 24–106.

16. Ёрсков, Э. Р. Протеиновое питание жвачных животных / Э. Р. Ёрсков; пер. с англ. Э. В. Овчаренко и Г. Н. Жидкоблиновой; под ред. и с предисл. В. И. Георгиевского. — М.: Агропромиздат, 1985. — 183 с.

17. Курилов, Н. В. Физиология и биохимия пищеварения жвачных / Н. В. Курилов, А. П. Кроткова. — М.: Колос 1971. — 432 с.

18. Протеиновые ресурсы и их рациональное использование при кормлении сельскохозяйственных животных и птицы / П. Ф. Шмаков [и др.]. — Омск: Вариант-Омск, 2008. — 488 с.

19. Алиев, А. А. Экспериментальная хирургия: учеб. пособие / А. А. Алиев. — 2-е изд., доп., перераб. — М.: Инженер, 1998. — 445 с.

20. А. с. 1687257 Способ определения протеолиза в желудке жвачных животных / А. Я. Рябиков, А. Н. Симикин. — № 4652696; заявл. 20.02.89; опубл. 01.07.91, Бюл. № 40.

РЯБИКОВ Анатолий Яковлевич, доктор биологических наук, профессор кафедры анатомии, гистологии, физиологии и патологической анатомии.

ОКТАБРЕВ Николай Михайлович, аспирант кафедры анатомии, гистологии, физиологии и патологической анатомии.

Адрес для переписки: nikf87@mail.ru

Статья поступила в редакцию 22.11.2011 г.

© А. Я. Рябиков, Н. М. Октябрев

УДК 612.015.3:616.831-092.9

В. В. КОРНЯКОВА

Омская государственная
медицинская академия

СОСТОЯНИЕ СИСТЕМЫ АНТИОКСИДАНТНОЙ ЗАЩИТЫ В ГОЛОВНОМ МОЗГЕ КРЫС ПРИ РАЗНЫХ РЕЖИМАХ ФИЗИЧЕСКИХ НАГРУЗОК

Интенсивные физические нагрузки приводят к интенсификации в головном мозге свободнорадикальных процессов и торможению активности ферментов антиоксидантной системы. Оптимальные физические нагрузки не снижают эффективность антиоксидантной защиты в головном мозге.

Ключевые слова: кровь, головной мозг, ферменты, физические нагрузки.

Экстремальные физические нагрузки способны приводить к нарушению процессов адаптации, что сопровождается нарушением гомеостаза и возникновением предпатологических и патологических изменений в отдельных органах и организме в целом [1]. Одним из функциональных состояний, определя-

ющих уровень работоспособности в условиях интенсивной или длительной физической либо умственной работы, является утомление, развивающееся вследствие структурных и функциональных нарушений в различных органах, в частности, в головном мозге, и сопровождающееся изменением

психофизиологического состояния организма [2]. Однако в современной литературе отсутствуют данные о пусковых механизмах утомления в мозге и состоянии в нем антиоксидантной защиты при данном явлении.

Целью исследования явилось изучение изменения активности ферментов АОС в головном мозге крыс при физических нагрузках разной интенсивности.

Материалы и методы. Эксперимент проводили на базе Центральной научно-исследовательской лаборатории Омской государственной медицинской академии на 55 белых крысах-самцах массой 240 ± 20 г. Исследуемые животные были разделены на 4 группы. Первую из них составляли интактные крысы (И, $n = 10$); вторую — контрольные крысы (К, $n = 15$), которые подвергались плаванию без груза по усредненному времени (3–7 мин) через день в течение пяти недель эксперимента. В третью группу вошли животные с оптимальным режимом физической нагрузки (ОН, $n = 15$), которые подвергались принудительному плаванию с грузом, равным 10 % от массы тела, в течение пяти недель через день. На крысах четвертой группы (ИН, $n = 15$) моделировали интенсивные физические нагрузки принудительным плаванием с грузом в течение первых трех недель эксперимента через день, последние две недели — ежедневно. Критерием ограничения времени плавания у крыс третьей и четвертой экспериментальных групп служило опускание животного на дно бассейна, после которого оно не могло самостоятельно подняться на поверхность. У всех животных фиксировали время плавания, периоды активного плавания, замирания, выпрыгивания, ныряния.

Плавание крыс проводили в бассейне диаметром 45 см, глубиной 60 см, с температурой воды $28 - 30^\circ\text{C}$, а воздуха в виварии — $19 - 21^\circ\text{C}$. Исследования проводились в соответствии с требованиями Европейской конвенции по защите экспериментальных животных. По окончании эксперимента в плазме крови крыс забирали кровь и определяли концентрацию лактата, урата и глюкозы унифицированными методами исследования. Из головного мозга готовили 20 % гомогенаты с использованием 0,15 М раствора хлорида калия, в которых определяли содержание белка биуретовым методом, активность супероксиддисмутазы (СОД) по Т. В. Сирота [3], глутатионредуктазы (ГлР) и глутатионпероксидазы (ГлПО) — по С. Н. Власовой и соавт. [4], глюкозо-6-фосфатдегидрогеназы (Г-6-ФДГ) — по Д. В. Черданцеву [5].

Для биохимических исследований использовали реактивы фирм «Ольвекс» (Россия), «Hospitex»

(Швейцария), «Randox» (Великобритания). Результаты исследования обработаны статистически с помощью программы SPSS 13.0. Статистическая обработка осуществлялась с использованием непараметрического критерия Манна – Уитни. Достаточным считался уровень значимости $p < 0,05$.

Результаты и их обсуждение. Полученные нами данные свидетельствуют о том, что экспериментальные животные контрольной группы и подвергнутые ОН незначительно отличаются по биохимическим показателям крови и гомогенатов головного мозга от интактных крыс. Однако следует отметить, что плавание без груза сопровождается увеличением уровня лактата в крови контрольных крыс [на 37,6 % по сравнению с интактными животными ($P = 0,003$)], что свидетельствует об активации у них процессов анаэробного гликолиза. У крыс группы К это не сопровождается энергетическим дефицитом и усилением окисления липидов. Наблюдается лишь незначительное снижение в крови данных животных концентрации глюкозы (на 3,0 %, $P = 0,57$) и увеличение β -гидроксibuтирата (на 22,2%, $P = 0,11$) по сравнению с аналогичными показателями у интактных крыс (табл. 1). Несмотря на усиление процессов анаэробного гликолиза, у контрольных крыс не происходит истощения антиоксидантной системы в ткани головного мозга.

Плавание в режиме ОН сопровождается возрастанием уровня лакцидемии (на 40,0 %, $P = 0,002$ по сравнению с аналогичным показателем у животных группы И). У крыс группы ОН увеличивается тенденция к снижению уровня глюкозы в крови (на 6,7 %; $P = 0,46$), а содержание β -гидроксibuтирата статистически значимо возрастает (на 29,6 %; $P = 0,01$) по сравнению с аналогичными показателями у интактных крыс. Вместе с тем плавание в режиме ОН не сопровождается усиленной активацией ксантиноксидазной реакции, о чем свидетельствует лишь тенденция к нарастанию урата в крови крыс данной группы [на 38,1 % ($P = 0,06$) по сравнению с аналогичным показателем у интактных животных]. Однако данные метаболические перестройки сопровождаются напряжением АОС в тканях головного мозга. У крыс группы ОН отмечается снижение активности СОД (на 12,6 %; ($P = 0,08$)), ГлПО (на 20,7 %; ($P = 0,11$)), ГлР (на 12,5 %; ($P = 0,09$)) по отношению к интактным крысам (табл. 2).

Интенсивные физические нагрузки приводят к резкому увеличению в крови уровня молочной кислоты [на 83,5 % ($P = 0,0001$), 33,3 % ($P = 0,0001$) и 31,1 % ($P = 0,003$) по сравнению с аналогичными параметрами у животных групп И, К и ОН соответственно], что указывает на интенсификацию реакций анаэроб-

Таблица 1
Биохимические показатели крови крыс интактных (И), контрольных (К), подвергнутых оптимальным нагрузкам (ОН) и интенсивным нагрузкам (ИН), $M \pm m$, $n = 10 - 5$

Показатели	И	К	ОН	ИН
Глюкоза, ммоль/л	$8,04 \pm 0,60$	$7,80 \pm 0,45$	$7,50 \pm 0,22$	$6,44 \pm 0,35$ и, к, он
Лактат, ммоль/л	$5,95 \pm 0,32$	$8,19 \pm 0,49$ и	$8,33 \pm 0,60$ и	$10,92 \pm 0,45$ и, к, он
β -гидроксibuтират, ммоль/л	81 ± 5	99 ± 9	105 ± 6 и	113 ± 10 и
Урат, мкмоль/л	$75,9 \pm 6,2$	$79,2 \pm 6,4$	$104,8 \pm 10,5$	$150,2 \pm 16,4$ и, к, он

Примечание. Здесь и в табл. 2: и — различия статистически значимы по сравнению с крысами интактными, к — с контрольными, он — с подвергнутыми ОН.

Таблица 2
Биохимические показатели гомогенатов головного мозга крыс интактных (И), контрольных (К),
подвергнутых оптимальным нагрузкам (ОН) и интенсивным нагрузкам (ИН), $M \pm m$, $n=10$

Показатели	И	К	ОН	ИН
Супероксиддисмутаза, Ед SO_4 / мг белка	10,93 $\pm$ 0,37	9,87 $\pm$ 0,27	9,55 $\pm$ 0,61	7,64 $\pm$ 0,35 и, к, он
Глутатионпероксидаза, МЕ/мг белка	164 $\pm$ 13	175 $\pm$ 9	130 $\pm$ 15	79 $\pm$ 8 и, к, он
Глутатионредуктаза, МЕ/мг белка	96,3 $\pm$ 5,8	89,6 $\pm$ 7,3	84,3 $\pm$ 4,1	79,5 $\pm$ 1,9 и
Глюкозо-6-фосфат-дегидрогеназа, МЕ/г белка	38,0 $\pm$ 2,8	38,9 $\pm$ 1,8	38,6 $\pm$ 2,4	37,4 $\pm$ 2,7

ного гликолиза, вызванную недостаточной обеспеченностью тканей кислородом. В этих условиях развивается дефицит углеводов, уровень глюкозы в плазме крови крыс группы ИН статистически значимо снижается [на 19,9 % ($P=0,036$), 17,4 % ($P=0,042$), 14,1 % ($P=0,028$) по сравнению с аналогичным показателем у животных групп И, К и ОН соответственно]. Вследствие недостаточной эффективности процессов энергообеспечения у крыс группы ИН усиливается окисление в тканях липидов. Тенденция к нарастанию концентрации β -гидроксибутирата в крови животных группы ИН увеличивается, его содержание на 39,5 % ($P=0,01$) превышает аналогичный параметр у интактных крыс. Развившиеся в организме крыс группы ИН лакто- и кетоацидоз вызывают усиленный катаболизм пуриновых мононуклеотидов до мочевой кислоты. Концентрация урата в крови крыс группы ИН увеличивается на 97,9 % ($P=0,0001$), 89,6 % ($P=0,0001$) и 43,3 % ($P=0,01$) относительно данного показателя у животных групп И, К и ОН соответственно (табл. 1).

Катаболизм пуринов у крыс группы ИН сопряжен с активацией перекисного окисления липидов и истощением АОС в ткани головного мозга. Так, активность СОД в головном мозге животных группы ИН на 30,1 % ($P=0,009$), 22,6 % ($P=0,009$) и 20,0 % ($P=0,028$) ниже по сравнению с соответствующим параметром в группах крыс И, К и ОН соответственно (табл. 2). Известно, что торможение СОД способствует увеличению числа неинaktivированных супероксидных радикалов [6].

В условиях ИН снижается активность ферментов метаболизма глутатиона в ткани головного мозга, что указывает на развитие дефицита этого трипептида в условиях интенсивных физических нагрузок. Особенно выражено у крыс вышеупомянутой группы торможение селензависимого фермента ГлПО [на 51,8 % ($P=0,003$), 54,9 % ($P=0,003$) и 39,2 % ($P=0,015$) относительно аналогичного показателя у животных И, К и ОН групп] (табл. 2), что может быть вызвано недостатком селена в условиях интенсивных физических нагрузок [7, 8]. Активность ГлР в головном мозге крыс группы ИН ниже аналогичного параметра у крыс групп И, К и ОН соответственно на 17,4 % ($P=0,025$), 11,3 % ($P=0,34$) и 5,7 % ($P=0,70$).

При интенсивной мышечной работе увеличивается потребление мозгом кислорода и глюкозы, поступающих с током крови. Дефицит глюкозы и нарастающая гипоксия в условиях ИН приводят к торможению реакций пентозного цикла. Последнее подтверждается тенденцией к снижению активности Г-6-ФДГ в головном мозге крыс, подвергнутых ИН [на 1,6 % ($P=1,00$), 3,9 % ($P=0,94$) и 3,1 % ($P=0,86$) по сравнению с аналогичным показателем у крыс групп

И, К и ОН соответственно]. Снижение активности этого фермента может способствовать торможению генерации NADPH, что также приводит к угнетению функции АОС, а в целом — к снижению функциональной активности головного мозга, отличающегося высокой потребностью в энергии.

Необходимо отметить, что у животных группы ИН отмечали снижение времени активного плавания к окончанию эксперимента на 42,5 % и количества выпрыгиваний на 45,5 % по сравнению с крысами группы ОН. Крысы, подвергнутые ИН, на пятой неделе эксперимента отличались более пассивным поведением, снижением двигательной активности в периоды отдыха и вяло реагировали на внешние раздражители. Вышеперечисленные признаки свидетельствуют о развитии у крыс группы ИН утомления, что подтверждает результаты биохимических исследований.

Таким образом, интенсивные физические нагрузки приводят к развитию гипоксии, лакто- и кетоацидоза, сопряженных с интенсификацией катаболизма пуриновых мононуклеотидов до урата. Это сопровождается усиленным генерированием активных кислородных метаболитов, истощающих функцию антиоксидантной системы в головном мозге.

Библиографический список

1. Лыжина, Е. В. Структурно-функциональная реорганизация клеток Пуркинне мозжечка белых крыс после физической нагрузки разной степени интенсивности / Е. В. Лыжина, В. В. Корнякова, В. В. Шаповалова // Морфология. — 2008. — Т. 134, № 5. — С. 80–81.
2. Роженцов, В. В. Утомление при занятиях физической культурой и спортом: проблемы, методы исследования / В. В. Роженцов, М. М. Полевщиков. — М.: Советский спорт, 2006. — 280 с.
3. Сирота, Т. В. Новый подход в исследовании процесса аутоокисления адреналина и использование его для измерения активности супероксиддисмутаза / Т. В. Сирота // Вопр. мед. химии. — 1999. — Т. 45, № 3. — С. 263–272.
4. Власова, С. Н. Активность глутатионзависимых ферментов эритроцитов при хронических заболеваниях печени у детей / С. Н. Власова, Е. И. Шабунина, И. А. Переслегина // Лаб. дело. — 1990. — № 8. — С. 19–21.
5. Черданцев, Д. В. Диагностика и лечение окислительного стресса при остром панкреатите / Д. В. Черданцев. — Красноярск: АРТЭ, 2002. — 148 с.
6. Кольтовер, В. К. Свободнорадикальная теория старения: исторический очерк / В. К. Кольтовер // Успехи геронтологии. — 2000. — № 4. — С. 33–40.
7. Вировец, О. А. О повышенных потерях макро- и микроэлементов при занятиях спортом и целесообразности их компенсации биологически активными добавками / О. А. Вировец // Вопросы питания. — 2009. — Т. 78, № 2. — С. 67–71.

8. Корнякова, В. В. Применение БАД «Селен-актив» для коррекции антиоксидантного статуса организма у представителей циклических видов спорта / В. В. Корнякова // Теория и практика физической культуры. — 2010. — № 10. — С. 66–68.

КОРНЯКОВА Вера Валерьевна, кандидат биологических наук, доцент (Россия), доцент кафедры

безопасности жизнедеятельности, медицины катастроф.

Адрес для переписки: bbk_2007@inbox.ru.

Статья поступила в редакцию 08.09.2011 г.

© В. В. Корнякова

УДК 581.526.325:627.17(571.13)

Л. В. GERMAN

Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина

ТАКСОНОМИЧЕСКИЙ СОСТАВ ФИТОПЛАНКТОНА ОЗЕРА КАЛАЧ (г. КАЛАЧИНСК, ОМСКАЯ ОБЛАСТЬ)

Описан таксономический состав фитопланктона озера Калач в 2009–2011 гг. Методами биоиндикации установлено, что озеро загрязнено органическими веществами и подвержено «цветению» воды.

Ключевые слова: фитопланктон, таксономический состав, эвтрофирование, «цветение» воды.

Изучение состава живых организмов водоема позволяет быстро установить его санитарное состояние, определить степень и характер загрязнения и пути его распространения в водоеме, а также дать количественную характеристику протекания процессов естественного самоочищения. Биоиндикационные свойства фитопланктона как показателя качества водоема наиболее проработаны по сравнению с другими группами водных организмов, они определяются фактом нахождения или отсутствия определенных видов водорослей и цианопрокариот, а также степенью их количественного развития [1].

Озеро Калач — водоем природно-антропогенного происхождения с замкнутым водообменом, расположенный в центре г. Калачинска. Котловина озера находится на нижней надпойменной террасе реки Оми и имеет подковообразную форму. Озеро является относительно мелководным, максимальная глубина в период половодья составляет около 4 м. Озеро интенсивно используется населением для рекреации.

Количественные пробы фитопланктона объемом 0,5 л отбирали из поверхностного слоя воды на 5 станциях, расположенных равномерно по акватории озера, с мая 2009 по октябрь 2011 гг. Отбор проб проводили 2 раза в месяц в период открытой воды и 1 раз — в период ледостава. Для более тщательного изучения таксономического состава фитопланктона отбирали качественные пробы. Все пробы фиксировали 40 % формалином и концентрировали осадочным способом. Обработку проб проводили общепринятыми в гидробиологии методами [2]. Определение видов диатомовых водорослей проводили на постоянных препаратах с использованием масляной иммерсии при увеличении $\times 1350$ на световом микроскопе Микмед-1 и на сканирующем электронном микроскопе Hitachi S3400N в лаборатории водной экологии Института водных и экологических проблем СО РАН (г. Барнаул). Доминирующий комплекс фитопланктона определяли по численности к доми-

нантам относили виды, численность которых составляла не меньше 10 % [3].

За период исследования в фитопланктоне озера идентифицировано 285 видов, разновидностей и форм, относящихся к 8 отделам: цианопрокариоты (*Cyanoprokaryota*) — 49, динофитовые (*Dinophyta*) — 4, криптофитовые (*Cryptophyta*) — 3, желтозеленые (*Xanthophyta*) — 4, диатомовые (*Bacillariophyta*) — 61, золотистые (*Chrysophyta*) — 9, эвгленовые (*Euglenophyta*) — 39 и зеленые водоросли (*Chlorophyta*) — 116. Высоким видовым богатством отличались зеленые, диатомовые, эвгленовые водоросли и цианопрокариоты.

Зеленые водоросли встречаются в фитопланктоне озера Калач во все вегетационные сезоны и часто входят в состав доминирующего комплекса. К их числу относятся *Monoraphidium contortum* (Thur.) Kom.-Legn., *M. minutum* (Nag.) Kom.-Legn., *Scenedesmus acutus* Meyen, *S. falcatus* Chod. и *Dictyosphaerium pulchellum* Wood. Последний вид в августе 2009 г. достигал максимальной численности в 295,5 млн кл./л. Как отмечает ряд исследователей, присутствие в фитопланктоне *Dictyosphaerium pulchellum* служит показателем высокой эвтрофности водоема, особенно при его антропогенном загрязнении, и может вызывать «цветение» воды [4].

Зеленые водоросли представлены классом *Chlorophyceae* и порядками *Volvocales* и *Chlorococcales*. Основную роль в формировании видового богатства зеленых водорослей играет порядок *Chlorococcales* (113 видовых и внутривидовых таксонов), значительную роль в котором играют виды семейств *Scenedesmaceae* (45) и *Selenastraceae* (22). Высокое видовое богатство характерно для рода *Scenedesmus* (28 видовых и внутривидовых таксонов).

Вольвоксовые водоросли представлены видами рода *Pandorina* (*P. morum* (Müll.) Borg и *P. charkoviensis* Korsch.) и *Chlamydomonas*. Летом 2009 г. *Pandorina charkoviensis* входила в состав доминиру-

ющего комплекса. Не идентифицированные виды рода *Chlamydomonas* входили в состав доминирующего комплекса в конце зимы — начале весны 2010 г.

Среди представителей зеленых водорослей выявлено 9 новых для Омского Прииртышья видов, из которых 5 относятся к роду *Scenedesmus*: *S. helveticus* Chod., *S. lefevrii* Defl., *S. magnus* Meyen, *S. microspina* Chod. и *S. perforatus* var. *ornatus* Lemm. Впервые в альгофлоре региона найдены *Characium ornithocephalum* A. Braun, *Hydrium gracile* Korsch., *Franceia ovalis* (Francé) Lemm., *Oocystis marssonii* Lemm.

Диатомовые водоросли представлены классами *Pennatophyceae* (55 видовых и внутривидовых таксонов) и *Centrophyceae* (6). В составе пеннатных диатомей преобладают случайно-планктонные виды, доля истинно планктонных видов незначительна, соотношение видов указанных экологических групп составляет 38:6. Из случайно-планктонных диатомей наиболее часто встречаются *Surirella minuta* Brebisson, *Rhoicosphenia abbreviata* (Ag.) Lange-Bert., *Diatoma vulgare* Bory, *D. tenue* Ag, *Cocconeis placentula* Ehr., некоторые виды родов *Nitzschia*, *Achnanthes*, *Navicula* и др. Представители случайно-планктонных пеннатных диатомей входят в состав доминирующего комплекса: *Rhoicosphenia abbreviata* (лето 2009 г.), *Cocconeis placentula* (лето 2010 г.), *Diatoma tenue* (весна 2010 г.). Высокое видовое богатство случайно-планктонных диатомей связано с тем, что озеро богато высшей водной растительностью, являющейся прекрасным субстратом для перифитона.

Из истинно планктонных пеннатных диатомей чаще других встречаются *Fragilaria crotonensis* Kitt. (доминант лета 2009 г.) и *Nitzschia graciliformis* Lange-Bert. et Sim. emend Genkal et Popovskaya.

Из представителей класса *Centrophyceae* в состав доминирующего комплекса осенью 2009 и весной 2010 гг. вошел индикатор антропогенного эвтрофирования *Stephanodiscus hantzschii* Grun. Круглый год в фитопланктоне встречается, не достигая высокой численности, *Cyclotella meneghiniana* Kütz. Среди центрических диатомей идентифицированы *Chaetoceros mülleri* Lemm. и *Ch. wigamii* Bright., являющиеся солоноватоводными видами.

В составе диатомовых водорослей обнаружено 5 новых для Омского Прииртышья видов: *Synedra tabulata* var. *fasciculata* (Kütz.) Grun., *Achnanthes delicatula* (Kütz.) Grun. ssp. *delicatula*, *A. delicatula* ssp. *hauckiana* Lange-Bert., *Cymbella lata* Grun. in Cleve, *Nitzschia diserta* Hust.

Цианопрокариоты по видовому богатству находятся на третьем месте. Представлены они тремя порядками: *Chroococcales* (27 видовых и внутривидовых таксонов), *Oscillatoriales* (16) и *Nostocales* (6). Наибольшее видовое богатство характерно для родов *Anabaena* (5 видовых и внутривидовых таксонов), *Microcystis* (4) и *Chroococcus* (4).

В разные сезоны года в состав доминирующего комплекса фитопланктона входят такие виды цианопрокариот, как *Merismopedia tenuissima* Lemm. (все сезоны, кроме лета и осени 2010 г.), *Synechocystis aquatilis* Sauv. (лето 2010 г.), *Aphanocapsa incerta* (Lemm.) Crönb. et Kom. (лето и осень 2009 г., весна и лето 2010 г., осень 2011 г.), *Leptolyngbya angustissima* (W. et G.S. West) Anagn. et Kom. (лето 2009 г., лето и осень 2010 г.), *Chroococcus dispersus* (Keissl.) Lemm. (лето и осень 2009–2011 гг.) и *Planktolyngbya limnetica* (Lemm.) Kom.-Legn. et Crönb. (весна и лето 2009 г.).

Среди цианопрокариот также найдены 9 новых для Омского Прииртышья видов, из которых к мало-

изученным относится *Rhabdoglea planctonica* (Teill.) Kom., а к неревизованным — *Coelosphaerium anomalum* (Bennet) de Toni et Levi [5].

В фитопланктоне озера найдены и токсичные виды цианопрокариот — *Microcystis aeruginosa* (Kütz.) Kütz., *M. flos-aquae* (Witr.) Kirchn., *M. novacekii* (Kom.) Compere, *M. wesenbergii* (Kom.) Kom. in Kondr., *Anabaena circinalis* Rabenk. ex Born. et Flah. и *A. flos-aquae* (Lyngb.) Bréb., *Aphanizomenon klebahnii* (Elenk.) Pechar et Kalina. Они вегетируют в различные сезоны, но максимального обилия достигают летом и осенью. Следует отметить, что численность токсичных видов в фитопланктоне озера Калач значительно меньше допустимого для питьевой воды [6], но иногда общая численность цианопрокариот, включая и токсичные виды, превышала допустимый показатель для рекреационных водоемов [7].

Эвгленовые водоросли, занимающие четвертое место по видовому богатству в фитопланктоне озера Калач, представлены пятью родами, из которых наибольшее видовое богатство характерно родам *Euglena* (18 видовых и внутривидовых таксонов) и *Trachelomonas* (11). Встречаются эвгленовые водоросли в озере круглогодично, максимального обилия достигают в осенний период. Высокое видовое богатство эвгленовых водорослей свидетельствует не только об эвтрофировании, но и о загрязнении водоема легкоокисляемыми органическими веществами [8].

В фитопланктоне озера Калач идентифицировано 5 новых для Омского Прииртышья представителей эвгленовых водорослей: *Trachelomonas hispida* var. *granulata* Playf., *Euglena minima* Francé, *Eutreptia globulifera* van Goor, *Phacus pleuronectes* var. *hamelii* (All. et Lef.) Popova, *Strombomonas treubii* var. *javonica* Wolosz.

Доля представителей других отделов водорослей в таксономическом спектре незначительна. Золотистые водоросли обычно встречаются осенью, представлены классом *Chrysomonadophyceae*, порядками *Chromulinales* и *Ochromonadales*, объединяющими 6 родов: *Kephyrion* (3 видовых и внутривидовых таксонов), *Pseudokephyrion* (2), *Chrysococcus* (1), *Stenocalyx* (1), *Mallomonopsis* (1), *Mallomonas* (1). Максимальной численности (120 тыс. кл./л) золотистые водоросли достигали осенью 2009 г., но в состав доминантов не входили, и, ввиду мелкоклеточности найденных видов, особой роли в формировании биомассы не имели.

Динофитовые водоросли представлены классом *Dinomonadineae*, порядками *Peridinales* и *Gymnodinales*, родами *Peridiniopsis* (2 видовых и внутривидовых таксонов), *Peridinium* (1), *Gymnodinium* (1). Из-за сложности определения не идентифицированными являются 2 представителя динофитовых, поэтому, возможно, число их видов в планктоне озера больше. Особенно интенсивно динофитовые водоросли вегетируют в летне-осенний период, например, осенью 2009 г. они входили в состав доминирующего комплекса. Среди динофитовых обнаружено 2 новых для Омского Прииртышья вида — *Peridiniopsis pennardiforme* (Lind.) Bourr. и *Peridinium palatinum* Laut.

Криптофитовые водоросли представлены классом *Cryptomonadineae*, порядком *Cryptomonadales*, семейством *Cryptomonadaceae*. Они интенсивно развиваются в планктоне озера круглый год, но максимального обилия достигают осенью. Наиболее обычными для фитопланктона являются *Chroomonas caudata* Geitl. и *Ch. acuta* Üterm., последний часто входит в состав доминирующего комплекса.

Желтозеленые водоросли представлены классами *Xanthococcophyceae* и *Heterotrichophyceae*, порядками *Heterococcales* и *Tribonematales*, родами *Tribonema* (2 видовых и внутривидовых таксонов), *Goniocloris* (1) и *Centritractus* (1). Желтозеленые водоросли в озере не достигают высокого уровня развития.

Всего в фитопланктоне озера Калач найдено 30 новых для Омского Прииртышья видов, разновидностей и форм водорослей и цианопрокариот. Наибольшее видовое богатство характерно для зеленых, диатомовых, эвгленовых водорослей и цианопрокариот. В фитопланктоне озера вегетируют токсичные виды цианопрокариот, а также большое количество видов-индикаторов загрязнения воды органическими веществами.

Библиографический список

1. Барина, С. С. Биоразнообразие водорослей — индикаторов окружающей среды [Текст] / С. С. Барина, Л. А. Медведева, О. В. Анисимова. — Тель-Авив, 2006. — 498 с.
2. Фёдоров, В. Д. О методах изучения фитопланктона и его активности [Текст] / В. Д. Фёдоров. — М. : Изд-во МГУ, 1979. — 168 с.
3. Корнева, Л. Г. Формирование фитопланктона водоема бассейнов Волги под влиянием природных и антропогенных факторов [Текст] : автореф. дис. ... д-р биол. наук / Л. Г. Корнева. — СПб., 2009. — 47 с.
4. Водоросли, вызывающие «цветение» водоемов северо-запада России [Текст]. — М. : Товарищество научных изданий КМКЮ, 2006. — 367 с.

5. Komárek J., Anagnostidis K. *Cyanoprokaryota*. I. *Chroococcales* / Süßwasserflora von Mitteleuropa / Ettl H., Gartner G., Heynig H., Mollenhauer D. (eds.). Bd. 19 (1). Jena etc., 1998. — 548 p.

6. Продукция микроцистина цианобактериями Шершневого водохранилища [Текст] / Н. И. Духовная, [и др.] // Водоросли: проблемы таксономии, экологии и использования в мониторинге : матер. II Всерос. конф. — Сыктывкар : Институт биологии Коми НЦ УрО РАН, 2009. — С. 72—74.

7. Михеева, Т. М. Планктонные цианобактерии зарегулированных на реке Свислочь водохранилищ в местах массового отдыха [Текст] / Т. М. Михеева, Е. В. Лукьянова, О. А. Шевелева // Озерные экосистемы: биологические процессы, антропогенная трансформация, качество воды : тез. докл. IV Межд. науч. конф., 12—17 сент. 2011, Минск — Нарочь / Белорусский гос. ун-т ; сост. и общ. ред. Т. М. Михеевой. — Минск : Изд. центр БГУ, 2011. — С. 76

8. Сафонова, Т. А. Эвгленовые водоросли Западной Сибири [Текст] / Т. А. Сафонова. — Новосибирск : Наука, 1987. — 191 с.

ГЕРМАН Людмила Викторовна, ассистент кафедры экологии и биологии.

Адрес для переписки: germanluda@mail.ru

Статья поступила в редакцию 16.12.2011 г.

© Л. В. Герман

УДК 612.743:636.1+619

Е. А. ЗУБАРЕВА

Омский государственный аграрный университет им. П. А. Столыпина

ИЗМЕНЕНИЕ БИОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СКЕЛЕТНЫХ МЫШЦ У ТРЕНИРУЕМЫХ ЛОШАДЕЙ ДО И ПОСЛЕ ФИЗИЧЕСКОЙ НАГРУЗКИ

В статье кратко описана разработанная нами методика анализа биоэлектрической активности скелетных мышц (метод электромиографии — ЭМГ), по которой проводился анализ поверхностной ЭМГ локтевого разгибателя запястья (m. extensor carpi ulnaris) зарегистрированной у тренируемых лошадей до и после физической нагрузки. На основании полученных данных выявлены особенности активации потенциалов действия двигательных единиц и построены физические модели статической и динамической мышечной активности до и после физической нагрузки (при утомлении).

Ключевые слова: поверхностная ЭМГ, физическая нагрузка, утомление, потенциал действия двигательной единицы, физическая модель, лошадь.

Для рационального и физиологичного тренинга лошади необходимо проводить оценку её функционального состояния непосредственно в процессе физической нагрузки с целью постоянного контроля реакции организма на тренировочную нагрузку.

Данная статья посвящена нервно-мышечному аппарату лошади, а именно методике анализа и оценке биоэлектрической активности скелетных мышц методом электромиографии (ЭМГ) до и после физической нагрузки с целью найти наиболее информатив-

ные показатели, характеризующие функциональное состояние нервно-мышечного аппарата лошади.

Метод ЭМГ является самым объективным и информативным методом исследования скелетных мышц. В частности, поверхностная ЭМГ, благодаря своей неинвазивности, безболезненности и простоте, имеет возможность своего использования в полевых условиях тренинга лошади.

Исследования проводились на 10 конкурных жеребцах и меринах полукровной породы, 5—7-летнего

Характеристика ЭМГ статической работы *m. extensor carpi ulnaris* на заданных уровнях амплитуды до и после физической нагрузки

Таблица 1

Статическая работа	Частота ПДДЕ (Гц)				Σ M±m	Доля активации ПДДЕ, %			
	Уровни амплитуды, мкВ					Уровни амплитуды, мкВ			
	75,0 и более M±m	50,0 M±m	25,0 M±m	12,5 M±m		75,0 и более	50,0	25,0	12,5
поддержание позы до нагрузки	0,2±0,2	0,5±0,3	9,4±2,1	23,2±4,6	33,3±3,3	0,5	1,5	28,3	69,7
поддержание позы после нагрузки	0±0	0,2±0,2	2,8±0,9	11,7±2,1	14,7±2,3	0	1,6	18,8	79,6
Δ, %	− 100	-60	− 70,2**	-49,6*	− 55,9***	− 100	+ 6,7	-33,6	+ 14,2

возраста, массой 450 – 500 кг, высотой в холке 155 $\pm$ 5 см, без видимых признаков хромоты и заболеваний нервно-мышечной системы, тренируемых для участия в соревнованиях по конкуру в Омском областном конноспортивном клубе «Cor-De-Star» (п. Омский).

Регистрировалась 2-канальная поверхностная ЭМГ локтевого разгибателя запястья (*m. extensor carpi ulnaris*) с использованием электродов для регистрации ЭМГ через волосяной покров животного [1], при наложении которых на тело лошади не требуется процедура выбривания, что значительно сокращает время подготовительных операций. Применялись электроды шириной 1 мм и длиной 35 мм, с межэлектродным расстоянием (между центрами электродов) 18 мм. Оборудование для регистрации ЭМГ сконструировано на базе миниатюрного ноутбука, что позволяло проводить исследования в полевых условиях тренинга лошади [2].

ЭМГ регистрировалась при статической (поддержание позы) и динамической (при шаге) работе — выбранных в качестве тестовых движений для нормализации ЭМГ-сигнала по амплитуде — до и сразу же после высокой физической нагрузки.

Анализ ЭМГ проводился по методике подсчёта частоты потенциалов действия двигательных единиц (ПДДЕ) пересекающих или достигающих предварительно заданные уровни амплитуд. Уровни амплитуд задавались в % от максимальной амплитуды принятой за 100 % с целью нормирования по амплитуде ЭМГ-сигналов для каждой лошади. Уровни соответствовали следующим значениям: 12,5 % — низкороговые ПДДЕ второго порядка (н/п2); 25,0 % — низкороговые ПДДЕ первого порядка (н/п1), 50 % — промежуточные ПДДЕ (среднепороговые — с/п); 75 и более % — высокороговые ПДДЕ (в/п) от максимальной амплитуды равной 100 %. В данном случае уровень 100% соответствовал амплитуде 100 мкВ.

В результате анализа ЭМГ статической и динамической работы по данной методике получены следующие данные.

В табл. 1 отображены общие закономерности работы двигательных единиц (ДЕ) при статической работе мышцы (поддержание позы) до и после физической нагрузки.

В таблице показано, что после высоких нагрузок уменьшается частота разрядов ДЕ, вследствие их деактивации. Так в/п ПДДЕ почти полностью исчезают, с/п уменьшаются на 60 % ($P < 0,5$), н/п1 — на 70,2 % ($P < 0,001$) и н/п2 на 49,6 % ($P < 0,05$). В среднем частота уменьшается на 56 % ($P < 0,001$).

При общем уменьшении частоты, наблюдается перераспределение долей активации ПДДЕ по

заданным уровням: а именно, полное выпадение доли активации в/п ПДДЕ (уменьшение на 100 %) и н/п2 (уменьшение на 33,6 %), но увеличивается доля активации с/п ПДДЕ на 6,7 % и н/п2 на 14,2 %. Но наибольшую долю активации составляют н/п2 как до нагрузки (69,7 %), так и после — 79,6 %.

Причём статистически более достоверным значением изменений показателей частоты до и после нагрузки является частота ПДДЕ на уровне равным 25,0 мкВ, то есть на уровне 25 % от максимальной амплитуды, взятой за 100 % (при нормировании уровней как при динамической работе) или 1/2 от максимальной амплитуды, которая в данном случае равна 50 мкВ.

Для понимания характера мышечной активности необходимо построение физических моделей степени активации ДЕ и их взаимодействия. На рис. 1 приведена модель динамики изменений долей активации ПДДЕ по заданным уровням амплитуды при поддержании позы до и после физической нагрузки.

При динамической работе активация ДЕ меняется. В табл. 2 приведены общие данные динамической работы локтевого разгибателя запястья при шаге до и после физической нагрузки.

Динамическая работа (шаг) до нагрузки за одно сокращение характеризуется большим процентом работы н/п импульсов (80 %) причём н/п1 и н/п2 активны почти в равной процентной доле (40 %). Доля активации с/п ПДДЕ составляет 11,3 %, а в/п — 8,7 %.

После нагрузки процент активности потенциалов за одно сокращение по заданным уровням изменяется в сторону повышения амплитуды ПДДЕ. Значительно увеличивается частота в/п ПДДЕ на 184,7 % ($P < 0,01$) и с/п ПДДЕ на 89,7 % ($P < 0,001$), незначительно — н/п1 на 15,2 % ($P < 0,5$), но уменьшается частота н/п2 на 17,2 % ($P < 0,5$). В целом наблюдается увеличение частоты всех потенциалов на 25,9 % ($P < 0,05$).

Статистически более достоверным значением изменений показателей частоты до и после нагрузки при динамической работе мышцы, является частота ПДДЕ на уровне 50,0 мкВ, то есть на уровне 1/2 от максимальной амплитуды.

Для наглядного представления о работе ДЕ при динамическом сокращении мышцы до и после физической нагрузки на рис. 2 изображена модель динамической работы *m. extensor carpi ulnaris* по долям активации ПДДЕ на заданных уровнях амплитуд.

В сравнении со стандартным показателем ЭМГ — средней частотой, получаем следующие цифры: до нагрузки частота составляла 179,4 $\pm$ 10,7 Гц, после нагрузки происходит увеличение частоты на 25,9 %, что составляет 225,8 $\pm$ 20,1 Гц.

Характеристика динамической работы (шаг) *m. extensor carpi ulnaris* на заданных уровнях амплитуды до и после физической нагрузки

Динамическая работа	Частота ПДДЕ (Гц)					Доля активации ПДДЕ, %			
	Уровни амплитуды, мкВ				Σ $M \pm m$	Уровни амплитуды, мкВ			
	75,0 и более $M \pm m$	50,0 $M \pm m$	25,0 $M \pm m$	12,5 $M \pm m$		75,0 и более	50,0	25,0	12,5
шаг до нагрузки	15,7 $\pm$ 4,7	20,3 $\pm$ 3,1	71,6 $\pm$ 4,8	71,9 $\pm$ 7,4	179,4 $\pm$ 10,7	8,7	11,3	39,9	40,1
шаг после нагрузки	44,7 $\pm$ 10,9	38,5 $\pm$ 4,0	82,5 $\pm$ 5,6	59,5 $\pm$ 7,7	225,8 $\pm$ 20,1	19,9	17,1	36,6	26,4
Δ , %	+184,7**	+89,7***	+15,2	-17,2	+25,9*	+128,7	+51,3	-8,3	-34,2

Примечание: Δ , % = 100 – (после нагрузки $\times$ 100) / до нагрузки);

P — достоверность различий двух средних величин по критерию Стьюдента;

«*» — $P < 0,05$; «**» — $P < 0,01$; «***» — $P < 0,001$.

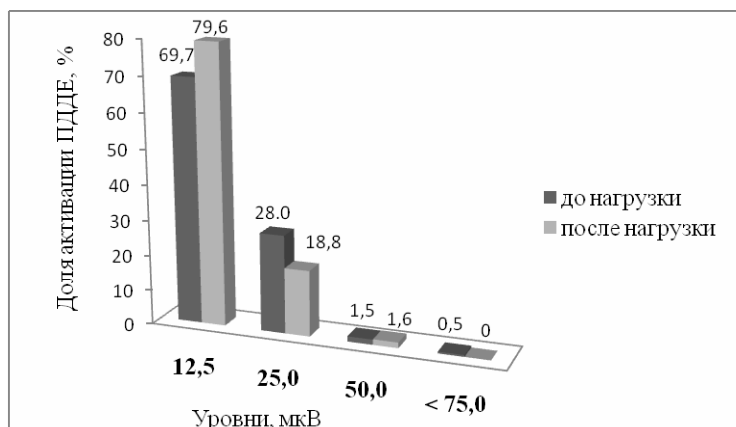


Рис. 1. Модель статической работы (поддержание позы) *m. extensor carpi ulnaris* до и после физической нагрузки

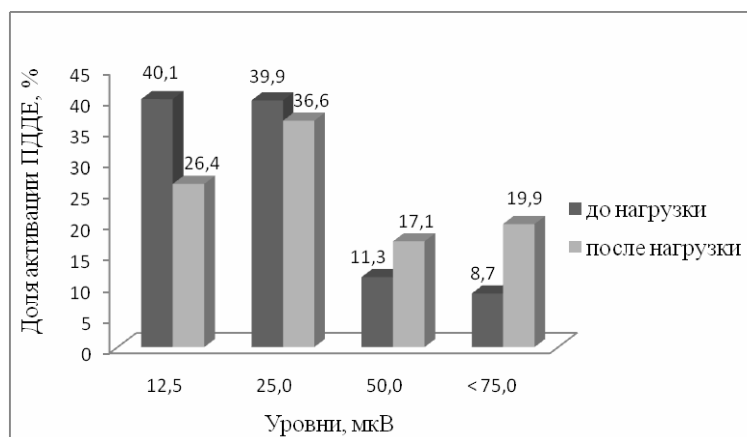


Рис. 2. Физическая модель динамической работы (шаг) *m. extensor carpi ulnaris* до и после физической нагрузки

Двухканальная регистрация ЭМГ позволяет определить не только направление отображаемой ЭМГ 1-го канала, скорость прохождения нервного импульса от одной пары электродов до второй, локализацию нервно-мышечного синапса (или синапсов), но и выявить степень схожести ЭМГ — сигнала (например, до и после физической нагрузки).

Степень схожести сигналов 1-го и 2-го каналов (коэффициент корреляции) за определённый промежуток времени выражалась в процентах, то есть на сколько процентов схожи 1-й и 2-й каналы.

В данной статье не приводятся числовые данные частотно-амплитудной характеристики ЭМГ 1-го

и 2-го каналов вследствие ограниченного объёма статьи. Но приведём графические отображения 2-канальной ЭМГ (сигналы отображены зеркально), где визуально наблюдается увеличение схождения двух каналов после высокой физической нагрузки (рис. 4) — форма, амплитуда, длительность импульсов 1-го и 2-го каналов почти идентичны друг другу, по сравнению с ЭМГ до нагрузки (рис. 3).

Увеличение уровня схождения 1-го и 2-го каналов связано с повышением нервно-мышечной возбудимости, когда ДЕ начинают разряжаться синхронно — одновременный разряд многих мышечных волокон под первой и второй парой электродов. Причём, как

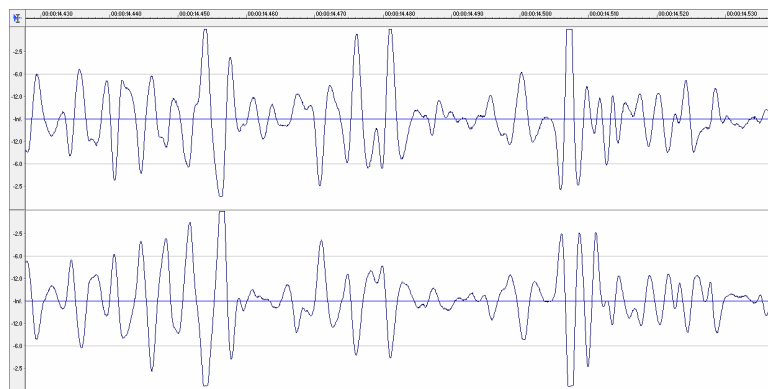


Рис. 3. Растянутый отрезок 2-канальной ЭМГ середины сокращения до нагрузки

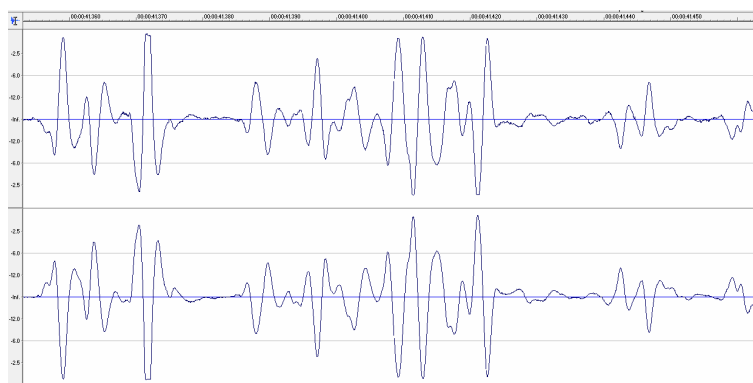


Рис. 4. Растянутый отрезок 2-канальной ЭМГ середины сокращения после высокой нагрузки

было замечено, чем ниже или выше интенсивность нагрузки, тем менее или более выражено данное сходство импульсов.

При анализе степени схождения ПДДЕ на различных уровнях амплитуд наибольшим значением обладает показатель схождения импульсов на уровне 1/2 от максимальной амплитуды.

В итоге, по числовым и графическим данным можно сделать вывод, что при статической работе локтевого разгибателя запястья (при поддержании позы), до нагрузки активны низкочастотные ПДДЕ, малоактивны промежуточные и почти полностью отсутствуют высокочастотные ПДДЕ. Что связано с особенностями активации мышцы при статическом напряжении, когда к мышцам поступают редкие нервные импульсы, и наличием у лошадей статического аппарата передних и задних конечностей, обеспечивающих отдых мышцам. Наличие статического аппарата у лошади так же объясняет понижение статической активности мышцы после высокой нагрузки, когда утомлённая мышца расслабляется. Происходит увеличение доли активации низкочастотных ПДДЕ второго порядка, но уменьшение низкочастотных ПДДЕ первого порядка, на фоне уменьшения общей частоты импульсов, что является признаком синхронизации и активации в большей степени низкочастотных малоутомляемых ДЕ второго порядка. Увеличение активности низкочастотных ДЕ второго порядка (с самой низкой амплитудой) говорит об активности мышечных волокон глубоких слоёв мышцы. Незначительное увеличение промежуточных импульсов на фоне уменьшения низкочастотных ПДДЕ первого порядка свиде-

тельствует об их слабой синхронизации. Рекрутирование новых ДЕ не наблюдается.

При динамической работе локтевого разгибателя запястья до нагрузки активны низкочастотные ДЕ (80 %), почти в равной степени как низкочастотные первого порядка, так и низкочастотные второго порядка. Примерно на 11,3 % активны промежуточные ДЕ и на 8,7 % — высокочастотные из общего количества активных ДЕ за одно полное сокращение. После нагрузки наблюдается общее повышение частоты ЭМГ, что обусловлено повышенным возбуждением нервной системы в ответ на импульс к последующей двигательной активности (например, при шаге), на фоне недостатка кислорода и накопления продуктов обмена веществ в мышечной ткани. Увеличивается доля активации высокочастотных и промежуточных ПДДЕ как результат рекрутирования и синхронизации ДЕ. Поэтому происходит значительное увеличение частоты и доли активации высокочастотных ДЕ и, соответственно, уменьшение частоты и доли активации низкочастотных ДЕ.

Замечено, что при одинаковой нагрузке на мышцу (шаговая работа) после физической нагрузки происходит та же активация мышечных волокон (ДЕ), как и на рыси.

Полученные данные объясняются процессом утомления мышцы, когда нарастает число активных ДЕ взамен утомлённым (потерявшим активность). Дополнительное рекрутирование ДЕ позволяет компенсировать наметившееся снижение напряжения мышцы и обеспечивает первоначальную величину механического эффекта. Предположительно, включение высокочастотных ДЕ создаёт возможность

для восстановления активности утомлённых ДЕ, которые после восстановления, очевидно, могут снова включаться. Что является частичной компенсацией величины внешнего механического эффекта в начальной фазе утомления [3].

При утомлении нарушается тонкая координация сокращения мышечных волокон, вследствие чего увеличивается общая синхронизация ДЕ, а также синхронизация может быть результатом уменьшения средней частоты и увеличения амплитуды. Чем больше утомление, тем более выражена синхронизация ДЕ [4, 5].

Используя метод поверхностной ЭМГ, многие исследователи [3, 6–8] регистрировали повышенную биоэлектрическую активность мышцы в процессе наступления утомления при добровольном сокращении мышцы. Обнаруженный в нашем случае одновременный процесс общей синхронизации и рекрутирования ДЕ является признаком утомления мышцы.

Кроме определения утомления, изменения частотно-амплитудной характеристики ЭМГ говорит и о степени тренированности скелетных мышц. Так, при увеличении уровня тренированности лошади улучшается межмышечная координация, что характеризуется падением частоты и увеличением амплитуды ЭМГ. Происходит рекрутирование и синхронизация большого количества ДЕ определённого типа [9].

С использованием разработанных поверхностных электродов для ЭМГ и методики анализа ЭМГ-сигнала были найдены следующие наиболее информативные ЭМГ-показатели, характеризующие утомление нервно-мышечного аппарата:

— частота ПДДЕ на уровне 50% от максимальной амплитуды;

— степень схождения (корреляция) 1-го и 2-го каналов;

— частота на уровне 75 и более %, указывающая на активацию высокопороговых импульсов.

Утомление (по ЭМГ-сигналу) характеризуется:

— увеличением частоты, вследствие рекрутирования новых ДЕ;

— увеличением амплитуды, из-за вовлечения и суммирования новых ДЕ;

— увеличением степени схождения (корреляции) сигналов 1-го и 2-го каналов из-за увеличения процесса синхронизации ДЕ.

Количественные критерии оценки утомления, базирующиеся на значительных числовых различиях параметров ЭМГ-сигналов до и после физической нагрузки, помогут в дальнейшем найти параметры,

характеризующие степень утомления, переутомления, восстановления, определить модели активности ПДДЕ у лошадей с высоким уровнем тренированности. Но, прежде всего, полученные показатели помогут правильно организовать тренировочный процесс, сделать его максимально физиологичным, значительно уменьшить травматизм и процент выбраковки лошадей из тренинга, а также увеличить вероятность победы на соревнованиях.

Библиографический список

1. Пат. 81060 РФ, МПК⁵¹ А 61 В 5/04. Электрод для поверхностной электромиографии / Зубарев А. А., Зубарева Е. А., Пьянов В. Д.; заявитель и патентообладатель Омский гос. аграрный ун-т. — № 2008119988/22; заявл. 24.06.08; опубл. 10.03.09, Бюл. № 7. — 2 с.
2. Зубарева, Е. А. Электромиография скелетных мышц тренируемой лошади / Е. А. Зубарева // Коневодство и конный спорт. — 2011. — № 3. — С. 16–19.
3. Моногаров, В. Д. Утомление в спорте / В. Д. Моногаров. — Киев: Здоровье, 1986. — 120 с.
4. De Luca, C. J. Myoelectrical manifestations of localized muscular fatigue in humans / De Luca C. J. // Critical Review Biomedical. Engineering. — 1984. — № 11. — P. 251–279.
5. Moritani, T. Intramuscular and surface electromyogram changes during muscle fatigue / T. Moritani, M. Muro, A. Nagata // Applying Physiology. — 1986. — № 60. — P. 1179–1185.
6. Гидиков, А. А. Теоретические основы электромиографии. Биофизика и физиология двигательных единиц / А. А. Гидиков. — Л.: Наука, 1975. — 182 с.
7. Moritani, T. Electromyographic manifestation of muscular fatigue / T. Moritani, A. Nagata, M. Muro // Medicine and Science in Sports and Exercise. — 1982. — № 14 (3). — P. 198–202.
8. De Luca, C. J. Practicum on the use of sEMG signals in movement science. (2008). [Электронный ресурс] / C. J. De Luca. — Электрон. текстовые дан. - Режим доступа: http://www.delsys.com/Attachments_pdf (дата обращения: 27.01.2009).
9. Salomons, K. K. Surface electromyography during both standing and walking in m. ulnaris lateralis of diversely trained horses / K. K. Salomons, A. Thibar, A. P. Harrison. — Electromyography, Book 1. — In Tech.: 2011. — P. 211–224.

ЗУБАРЕВА Екатерина Александровна, аспирантка кафедры анатомии, гистологии, физиологии и патологической анатомии.

Адрес для переписки: katzubareva@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 21.03.2012 г.

© Е. А. Зубарева

Книжная полка

Черкес, Ф. К. Микробиология: учебник для вузов / Ф. К. Черкес, Л. Б. Богоявленская, Н. А. Бельская. — М.: Альянс, 2012. — 512 с. — Гриф Мин. здравоохранения. — ISBN 978-5-903034-58-1.

Учебник включает теоретические и практические разделы. В теоретических разделах приведены сведения о развитии микробиологии, свойствах микроорганизмов, инфекционном процессе, иммунитете и аллергии. В практических разделах по строго определенной схеме описаны основные методы микробиологического исследования при отдельных инфекциях. Учебник предназначен для учащихся фельдшерско-лаборантских и санитарно-фельдшерских отделений медицинских училищ.