

УДК 612.213:621.3 (23.03)

РЕМОДЕЛИРОВАНИЕ КАРДИОРЕСПИРАТОРНОЙ СИСТЕМЫ У ЭНЕРГЕТИКОВ  
В ЗОНЕ КОРОННОГО РАЗРЯДА ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ  
ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧ НА РАЗНЫХ ГОРНЫХ ВЫСОТАХ

*И.А. Абдумаликова, Н.В. Тимушкина, Д.И. Умаров, К.А. Ткачева*

Рассмотрено влияние синергетического действия коронного разряда высоковольтных линий электропередач у энергетиков. Отмечено, что рост частоты сердечных сокращений, напряжение углекислого газа в артериальной крови и падение дыхательного объема связаны с коронным разрядом высоковольтных линий электропередач, а снижение диастолического артериального давления и pH – с высокогорьем.

*Ключевые слова:* кардиореспираторная система; газовый гомеостаз; коронный разряд; высокогорье.

---

REMODELING OF THE CARDIORESPIRATORY SYSTEM  
IN POWER ENGINEERS IN THE ZONE OF CORONA DISCHARGE  
OF HIGH VOLTAGE POWER LINES AT DIFFERENT MOUNTAIN HEIGHTS

*I.A. Abdumalikova, N.V. Timushkina, D.I. Umarov, K.A. Tkacheva*

The article considers the influence of the synergistic action of corona discharge of high-voltage power lines in power engineering specialists. It is noticed that body height of heart rate, tension of carbon dioxide in the arterial blood and a drop in respiratory volume are associated with corona discharge of high-voltage power lines, and a reduction in diastolic blood pressure and pH – with the highlands.

*Keywords:* the cardiorespiratory system; gas homeostasis; corona discharge; highlands.

**Актуальность.** Одним из условий безопасности любой страны в современном мире является бесперебойное и самодостаточное энергоснабжение. Для реализации этих условий требуются энергоресурсы, каковыми в Кыргызстане служат гидроэнергетические ресурсы, расположенные на горных высотах.

Строительство гидроэлектростанций, установка опор, проводка высоковольтных линий электропередач (ВЛЭП), их профилактика и ремонт осуществляются в условиях высокогорной гипоксической гипоксии. Отдельные опоры ВЛЭП устанавливаются на крутых горных скалах, куда можно добраться только воздушным транспортом.

Сам по себе труд в этих суровых условиях вызывает значительное напряжение физиологических систем энергетиков, которое значительно возрастает при профилактике и ремонте ВЛЭП под напряжением. Поэтому еще 80–90 гг. прошлого века

встала проблема разработки мер защиты человека от воздействия коронного разряда (КР) ВЛЭП в условиях высокогорья [1, 2].

Проблема возникла в связи необходимостью бесперебойного снабжения объектов с круглосуточным режимом работы, а также экспортом электроэнергии за рубеж. За срыв доставки электроэнергии по контракту из-за профилактики и ремонта ВЛЭП полагалось платить неустойку. Начатые фундаментальные исследования были приостановлены после развала СССР, и проблема осталась нерешенной. Сегодня она приобретает особую актуальность в контексте проекта “Безопасность Кыргызстана”.

Целью настоящего исследования явилось выяснение особенностей ремоделирования кардиореспираторной системы (КРС) у энергетиков под действием факторов КР ВЛЭП на разных горных высотах.

Таблица 1 – Ремоделирование ряда параметров КРС после спуска с опоры ВЛЭП на разных горных высотах

№ п/п	Физиологические показатели	Условия			
		до подъема на потенциал		после спуска с потенциала	
		высокогорье	предгорье	высокогорье	предгорье
1.	ЧСС	85 ± 3,2	86,6 ± 2,9	108 ± 3,5	96 ± 3,8
2.	АД <sub>с</sub> , мм рт. ст.	130 ± 3,2	127 ± 3,2	140 ± 6,7	135 ± 2,2
3.	АД <sub>д</sub> , мм рт. ст.	60,2 ± 4,8	75 ± 1,2	70,7 ± 3,5	82 ± 2,2
4.	МОД, л/мин	8,3 ± 0,3	7,4 ± 0,2	10,1 ± 0,5	8,5 ± 0,1
5.	ЧД, л/мин	15,3 ± 0,9	14,3 ± 1,2	21,6 ± 1,6	21 ± 0,9
6.	ДО, мл	542,1 ± 30,9	527,4 ± 95,2	523,2 ± 40,8	404,2 ± 83,5
7.	VO <sub>2</sub> , мл/мин	383 ± 23,7	298 ± 8,0	475 ± 27,6	393 ± 17,7
8.	РаО <sub>2</sub> , мм рт. ст.	70,5 ± 1,8	87,0 ± 1,5	64,0 ± 1,9	77,1 ± 0,6
9.	SaO <sub>2</sub> , мм рт. ст.	94,7 ± 0,5	96,3 ± 0,08	90,5 ± 0,5	93,5 ± 0,12
10.	pH, усл. ед.	7,45 ± 0,01	7,38 ± 0,01	7,31 ± 0,01	7,34 ± 0,01
11.	BE, мэкв/л	-3 ± 0,7	-2 ± 0,6	-6 ± 1,2	-5 ± 0,6
12.	РаСО <sub>2</sub> , мм рт. ст.	28 ± 0,7	36,5 ± 1,5	40 ± 1,2	38,3 ± 1,4

**Материал и методы.** Работа выполнена на специалистах, занятых профилактикой и ремонтом высоковольтных линий электропередач в возрасте 26–29 лет со стажем работы 5–8 лет на высотах 780 (предгорье) и 2700 (высокогорье) метров над уровнем моря.

Перед подъемом и после спуска с опоры ЛЭП-500 кВ с коэффициентом коронирования на проводе  $E_k = E/E_0 = 1,5$ , где  $E_k$  – коэффициент коронирования;  $E$  – напряжение на поверхности провода;  $E_0$  – начальное напряжение, соответствующее появлению короны у испытуемых, изучали следующие параметры кардиореспираторной системы (КРС). Определяли минутный объем дыхания (МОД), частоту дыхания (ЧД) и дыхательный объем (ДО) по методу Дугласа – Холдена, потребление O<sub>2</sub> (VO<sub>2</sub>) и выделение CO<sub>2</sub> (VCO<sub>2</sub>), артериальное давление систолическое и диастолическое (АД<sub>с</sub>, АД<sub>д</sub>) и частоту сердечных сокращений (ЧСС) общепринятыми методами.

В пробах артериализированной крови определяли напряжение O<sub>2</sub> (РаО<sub>2</sub>), CO<sub>2</sub> (РаСО<sub>2</sub>), насыщение гемоглобина кислородом (SaO<sub>2</sub>), содержание ионов водорода (pH) с использованием микрометода Аструпа на газоанализаторе АВС-1 (Дания). По таблицам Зиггард – Андерсена определяли сумму (BB) и дефицит (BE) буферных оснований.

Результаты исследования сведены в таблицу 1.

**Обсуждение.** Все параметры (кроме pH и РаО<sub>2</sub>) в условиях высокогорья отклоняются от контрольных данных в предгорье в одном направлении. Это наводит на мысль, что ремоделирование показате-

лей зависит не столько от действия коронного разряда, сколько от среды обитания.

Все параметры под действием КР отклоняются однонаправлено, но в разной степени от исходных данных, независимо от высоты местности. Степень отклонения большинства параметров (ЧСС, АД<sub>с</sub>, МОД, ЧД, ДО, BE, РаСО<sub>2</sub>) в условиях высокогорья превалирует, меньшее количество (АД<sub>д</sub>, РаО<sub>2</sub>, SaO<sub>2</sub>, pH) – предгорных данных не достигает.

Следовательно, все параметры кардиореспираторной системы в условиях высокогорья (кроме ЧСС, pH, pCO<sub>2</sub>), по сравнению с данными, полученными в предгорье, отклоняются до подъема и спуска с потенциала однонаправлено. При этом показатели АД<sub>с</sub>, МОД, ЧД, ДО, VO<sub>2</sub> нарастают, а АД<sub>д</sub>, РаО<sub>2</sub>, SaO<sub>2</sub>, BE – снижаются. Отклоняются в противоположных направлениях только ЧСС, pH и pCO<sub>2</sub>. Создается впечатление, что ремоделирование физиологических параметров кардиореспираторной системы при сочетанном действии высокогорной среды обитания и КР ВЛЭП зависит не столько от влияния коронного разряда, сколько от высоты местности.

Однако другой факт говорит о том, что все параметры (без исключения) под действием коронного разряда отклоняются от исходных величин однонаправлено независимо от высоты местности. При этом отмечается увеличение ЧСС, АД<sub>с</sub>, АД<sub>д</sub>, МОД, ЧД, VO<sub>2</sub> и pCO<sub>2</sub> и снижение ДО, РаО<sub>2</sub>, SaO<sub>2</sub>, pH, BE. Отсюда следует, что действие КР ВЛЭП по характеру не зависит от высоты местности.

Разница заключается только лишь в количественном выражении установленных изменений.

Действие КР ВЛЭП вызывает повышение  $VO_2$  независимо от высоты местности за счет возросшего МОД (несмотря на снижение ДО) в результате учащения дыхания. Однако это не предотвращает падение  $PaO_2$  и  $SaO_2$  в условиях высокогорья и на уровне предгорья. В этих условиях появляются признаки дыхательного ацидоза и напряжения ВЕ.

Примечательно то, что в условиях высокогорья наблюдается тенденция вымывания  $pCO_2$ , тогда как в предгорье, напротив,  $PaCO_2$  нарастает.

Все эти изменения внешнего дыхания, газового состава и кислотно-основного состояния крови разворачиваются на фоне напряжения деятельности сердечно-сосудистой системы, о чем свидетельствует нарастание ЧСС,  $AD_c$ ,  $AD_d$ .

Высокогорная среда изменяет величину ремоделирования кардиореспираторной системы, наблюдаемого при действии КР ВЛЭП. Так, если ЧСС под действием высокогорной среды увеличивается на 76 %,  $AD_c$  – на 2,  $AD_d$  – на 8, МОД – на 6,  $PaCO_2$  – на 33 %, то ЧД уменьшается на 6, ДО – на 19,5 %,  $VO_2$  – на 8,  $PaO_2$  – на 1,7 %,  $SaO_2$  – 1,5 %, pH – на 1, ВЕ – на 1 %.

Таким образом, вклад высокогорной среды значим на изменения таких показателей кардиореспираторной системы, как ЧСС,  $AD_c$ , МОД,  $PaCO_2$  и незначителен по отношению  $AD_c$ , ЧД, ДО,  $PaO_2$ ,  $SaO_2$ , pH, ВЕ.

Определенный интерес составляет сравнительная характеристика ремоделирования кардиореспираторной системы под действием таких разнородных факторов, как КР ВЛЭП и высокогорья. Это сравнение показывает, что и коронный разряд ВЛЭП, и высокогорье приводят в одних случаях одним и тем же, в других – разным результатам. Так, оба они увеличивают  $AD_c$ , МОД, ЧД,  $VO_2$  и уменьшают  $PaO_2$ ,  $SaO_2$ , ВЕ. В то же время само по себе высокогорье вызывает снижение ЧСС,  $AD_d$ ,  $PaCO_2$  и увеличение ДО и pH, тогда как КР ВЛЭП приводит к обратным результатам. Интерпретировать эти данные довольно сложно. Тем не менее, одинаковые результаты, вызываемые разнородными факторами можно трактовать как проявление общей адаптационной реакции на стресс [3].

Чтобы выяснить вклад отдельно КР ВЛЭП и высокогорья в изменения кардиореспираторной системы в совокупности, сопоставим результаты с эффектами их влияния в отдельности. Как явствует из таблицы 1, совместное действие коронного разряда ВЛЭП и высокогорья сопровождается нарастанием  $AD_d$ , ДО,  $PaO_2$ ,  $SaO_2$ , pH и ВЕ. Как

было указано выше, и коронный разряд ВЛЭП, и высокогорье увеличивают  $AD_c$ , МОД, ЧД,  $VO_2$  и снижают  $PaO_2$ ,  $SaO_2$ , ВЕ. В то же время КР ВЛЭП вызывает рост ЧСС,  $AD_d$ ,  $PaCO_2$  и падение ДО и pH, а высокогорье дает противоположные эффекты.

Отсюда можно полагать увеличение  $AD_c$ , МОД, ЧД,  $VO_2$  и уменьшение  $PaO_2$ ,  $SaO_2$ , ВЕ – результат синергического действия коронного разряда и высокогорья, а рост ЧСС,  $PaCO_2$  и падение ДО – преимущественно коронного разряда, а снижение  $AD_d$  и pH – высокогорья.

На фоне чрезвычайной вариабельности ремоделирования данных, представленных в таблице 1, наблюдаются постоянное увеличение МОД, ЧД,  $VO_2$  и уменьшение  $PaO_2$ ,  $SaO_2$ , ВЕ независимо от характера возмущающих факторов, действующих на организм испытуемых. Само собой встает вопрос о регуляторных механизмах, обеспечивающих это феномен.

При всем разнообразии возмущающих факторов горной среды, коронного разряда и ВЛЭП и их комбинации всегда наличествует изменение вдыхаемого воздуха, что в первую очередь отражается на функции внешнего дыхания [4, 5]. Именно внешнее дыхание является узловым механизмом, позволяющим функционировать остальным звеньям газового гомеостаза и поддерживать динамическое постоянство внутренней среды организма [3].

Регуляция объема легочной вентиляции по кислороду и углекислоте общеизвестна и сегодня не вызывает сомнений. Применительно к результатам нашей работы следует полагать, что падение  $PaO_2$  усиливает афферентацию от хеморецепторов каротидных и аортальных рефлексогенных зон к дыхательному центру с последующим повышением функции дыхательных мышц и увеличением МОД, ЧД, ДО и  $VO_2$ .

Конечно, при этом нельзя игнорировать вклад изменений  $PaCO_2$ , Hb, pH, ВЕ, белков плазмы крови, а также состава газовой среды в зоне КР ВЛЭП и высокогорья. Для включения этих факторов в обсуждение данных, полученных на человеке, необходимы экспериментальные исследования на животных, результаты которых составят содержание наших последующих сообщений.

#### Выводы.

1. Под влиянием синергического действия коронного разряда высоковольтных линий электропередач отмечается увеличение  $AD_c$ , МОД, ЧД,  $VO_2$  и уменьшение  $PaO_2$ ,  $SaO_2$ , ВЕ.
2. Рост ЧСС,  $PaCO_2$  и падение ДО связаны с коронным разрядом ВЛЭП, а снижение  $AD_d$  и pH – с высокогорьем.

**Литература**

1. *Шидаков Ю.Х.-М.* Влияние коронного разряда высоковольтной линии электропередач на газовый состав крови человека и крысы в условиях высокогорья / Ю.Х.-М. Шидаков, Л.В. Козачук // Вестник КРСУ. 2015. Т. 15. № 11. С. 184–187.
2. *Шидаков Ю.Х.-М.* О ремоделировании микрогемоциркуляции под действием коронного разряда высоковольтной линии электропередач в условиях высокогорья / Ю.Х.-М. Шидаков, Н.В. Тимушкина, Л.В. Козачук и др. // Вестник КРСУ. 2015. Т. 15. № 11. С.188–193.
3. *Козачук Л.В.* Состояние кардиореспираторной системы и физико-химического гомеостаза крови человека при работе в зоне коронного разряда ЛЭП на разных горных высотах / Л.В. Козачук, И.А. Абдумаликова, М.В. Балыкин // Материалы Междунар. науч.-практ. конф. Балашов, 2015. С. 55–59.
4. *Лосев Н.И.* Физико-химический гомеостаз. Гомеостаз / Н.И. Лосев, В.А. Войнов. М.: Медицина, 1976. С. 376–427.
5. *Selye H.* The stress of life. New York, 1956. 247 p.