УДК 612.821

Влияние общей вертикальной вибрации на уровень потребления кислорода животными

**С.М. Минасян, Э.С. Геворкян, Ц.И. Адамян, Л.Э. Гукасян,
С.Г. Сарксян**

*Ереванский государственный университет, биологический факультет,
кафедра физиологии человека и животных
0025, Ереван, ул. Алека Манукяна, 1*

Ключевые слова: кислород, вибрация, энергетический обмен, симпато-адреналовая система

Обширный клинико-экспериментальный материал свидетельствует о многообразии симптомов и синдромов вибрационной патологии [2, 3]. При этом нарушения обменных процессов и нейрогуморальной регуляции вегетативных функций организма обусловлены как реакциями на специфический вибрационный фактор, так и сдвигами в адаптационных механизмах. Для их выяснения важное значение придается изучению функционального состояния симпато-адреналовой системы и энергетического обмена. В литературе недостаточно освещен вопрос о влиянии вибрации на энергетические процессы. Рядом авторов было выявлено повышение основного обмена у животных после вибрации [5, 9]. Усиление газового обмена, безусловно, связано также с усилением мышечного сокращения под воздействием вибрационных колебаний, при которых организм требует больше кислорода [1, 4, 6]. Теоретическая и экспериментальная малоизученность этого вопроса делает его особенно интересным. Учитывая важное значение кислородного эффекта в механизме воздействия вибрации, нами на крысах изучено изменение поглощения кислорода тканями различных структур головного мозга и мышц.

Материал и методы

Эксперименты проводились на белых крысах массой 180–200 г в двух сериях: в первой серии изучалось влияние среднечастотной (40 Гц), а во второй – относительно высокочастотной (80 Гц) вибрации на поглощение кислорода. Животные подвергались вибрации на вибростенде СТ–300 в течение часа. При включении вибростенда создавался шум, который при вибрации частотой 80 Гц достигал уровня 30 дБ. Проводилась также

контрольная серия опытов с изолированным действием на подопытных животных шума указанной выше интенсивности. Полученные данные показали, что шум вибростенда не вызывает достоверных изменений показателей поглощения кислорода. Для исключения возможной адаптации животных к вибрационному раздражителю между опытами всегда делался перерыв в 3–5 дней.

В наших исследованиях поглощение кислорода определялось манометрическим методом по Варбургу, а активность сукцинатдегидрогеназы (СДГ) в скелетных мышцах – методом обеспечения метилена синего.

Параллельно с изучением потребления кислорода, в скелетной мускулатуре определялась активность фермента СДГ методом обесцвечивания метилена синего, принцип которого заключается в том, что янтарная кислота под воздействием СДГ превращается в фумаровую кислоту. Под воздействием фермента из янтарной кислоты ионы водорода переходят на метилен синий, который обесцвечивается. Скорость реакции зависит от активности фермента. Активность СДГ выражалась продолжительностью реакции. Локализация электродов определялась на серийных срезах, сделанных на замораживающем микротоме.

Полученные данные подвергались статистической обработке. Достоверность различий между нормой и реакцией на воздействие определяли с использованием t- критерия по Стьюденту.

Результаты и обсуждение

Согласно литературным данным, у интактных крыс количество поглощенного кислорода на 1 мг живой массы за минуту составляет 7,1–8,5 мл [2, 6, 8]. В ответ на вибрационный раздражитель у подопытных животных наблюдалось изменение уровня потребляемого кислорода, характер и величина которого были тесно связаны с параметрами динамического фактора (табл. 1)

Таблица 1

Изменение потребления кислорода (мл/кг/мин) у крыс во время воздействия вибрации

Серии	Время в минутах								
	интактные животные			при вибрации			после вибрации		
	10	20	30	10	20	30	10	20	30
40 Гц	8,13±0,26	8,64±0,19	8,93±0,23	11,32±0,26 p<0,001	14,11±0,34 p<0,001	11,52±0,22 p<0,001	10,03±0,26 p<0,01	9,64±0,17 p<0,02	8,78±0,65 p<0,5
80 Гц	9,11±0,23	9,22±0,65	9,00±0,65	17,12±0,64 p<0,001	15,25±0,34 p<0,001	14,23±0,26 p<0,001	9,83±0,65 p<0,5	8,54±0,34 p<0,5	8,63±0,17 p<0,5

Среднечастотная вибрация (40 Гц) с первых же минут вызывала увеличение потребления кислорода, максимум которого наступал на 20-й минуте, превышая исходный уровень на 73,0%. Затем поглощение кислорода постепенно снижалось и на 30-й минуте поствибрационного периода восстанавливался исходный уровень (табл. 1). Изменялось также поведение животных. В первые 10–20 минут воздействия вибрации крысы проявляли беспокойство, затем наступало урежение дыхательных движений, вялость, сонливость, они лежали распластавшись, не реагировали на выключение вибростенда. После эксперимента они не подходили к пище, пассивность продолжалась в течение одного часа после прекращения вибрации.

Относительно высокочастотная вибрация (80 Гц) также приводила к повышенному потреблению кислорода, максимум которого наблюдался на 10-й минуте (88,0%, табл. 1). Высокий уровень поглощения кислорода сохранялся в течение всего периода воздействия вибрации. Полученные данные свидетельствуют о стимулирующем влиянии кратковременной вибрации (30 мин) на поглощение кислорода.

При одночасовом воздействии вибрации разной частоты наблюдались фазовые изменения поглощения кислорода (табл. 2).

Таблица 2

Изменение потребления кислорода (мл/кг/мин) у крыс при воздействии одночасовой вибрации

Серии	Число животных	Длительность вибрации в минутах			
		15	30	45	60
Контроль	25	7,91±0,12	8,93±0,24 p<0,001	8,56±0,19 p<0,01	8,56±0,22 p<0,01
40 Гц	15	11,32±0,26 p<0,001	14,11±0,34 p<0,001	11,52±0,22 p<0,5	11,02±0,19 p<0,5
80 Гц	20	12,09±0,34 p<0,001	15,56±0,29 p<0,001	14,13±0,26 p<0,001	12,92±0,24 p<0,05

В начальной фазе (15–30 мин) воздействия среднечастотной вибрации отмечалось интенсивное поглощение кислорода (повышение на 24,0% по сравнению с контролем), а во второй фазе (45–60 минут) – уменьшение (табл. 2). Согласно полученным данным, в первой фазе вибрация стимулирует энергетические процессы, повышая мышечный тонус, двигательную активность, частоту дыхательных движений, уровень потребляемого кислорода, а во второй фазе – приводит к угнетению всех показателей. Согласно литературным данным [4], повышение газообмена является результатом усиления мышечного тонуса и динамической работы, направленной на противодействие вибрации. Последующее пони-

жение уровня потребления кислорода на 45-й, 60-й минутах вибрации может быть объяснено наступающим ослаблением мышечного тонуса.

Таблица 3
Изменение потребления кислорода (мл/кг/мин) у крыс при воздействии многократной вибрации

Дни исследования	Число животных	Длительность вибрации в минутах			
		15	30	45	60
Контроль	25	7,91±0,12	8,93±0,24 p<0,001	8,56±3,74 p<0,01	8,56±0,29 p<0,001
15	15	11,43±0,28 p<0,001	13,17±0,31 p<0,001	12,17±0,36 p<0,1	12,43±0,29 p<0,02
30	15	12,11±0,34 p<0,001	12,80±0,36 p<0,2	14,21±0,44 p<0,001	12,91±0,38 p<0,1
45	15	10,91±0,27 p<0,001	11,40±0,21 p<0,2	11,08±0,28 p<0,5	11,12±0,34 p<0,5
60	13	9,23±0,18 p<0,001	9,52±0,24 p<0,5	9,43±0,26 p<0,5	8,68±0,24 p<0,1

Об изменении окислительно-восстановительных процессов в тканях свидетельствуют также сдвиги СДГ. Мы склонны присоединиться к мнению авторов о том, что при вибрационных воздействиях возникает гипоксия смешанного типа как за счет гемодинамических расстройств [7], так и нарушения процессов усвоения кислорода тканями [9].

В начальной фазе воздействия вибрации отмечается повышение активности СДГ (на 17,0%). Оценивая роль системы СДГ в процессе биологического окисления, мы полагаем, что это звено дыхательной цепи имеет важное значение в энергообеспечении тканей во время воздействия вибрации. Известно, что фермент СДГ, связанный со структурными элементами митохондриальных мембран, может монополюсно владеть дыхательной цепью. Это свойство сукцината – субстрата СДГ особенно выявляется в неблагоприятных ситуациях и играет важную компенсаторную функцию в энергообеспечении тканей. В связи с этим повышение активности СДГ в начальной фазе вибрации и снижение в конце ее воздействия свидетельствуют о влиянии вибрации на процессы потребления кислорода скелетной мускулатурой.

При длительном воздействии вибрации (2-месячное) наблюдались изменения поглощения кислорода и активности СДГ. В первые 3–4 недели отмечалось повышение потребления кислорода и активности СДГ во время вибрации (15–30 минут) (табл. 3). Начиная с 45-го дня у крыс отмечалось снижение потребления кислорода и активности СДГ и к 60-му дню восстанавливался исходный уровень. На этом фоне вибрация вызывала

незначительное увеличение потребления кислорода и активности СДГ в первые 15 минут воздействия (табл. 3).

Полученные данные позволяют сделать вывод о стимулирующем влиянии кратковременного воздействия вибрации на энергетические процессы и подавляющем – длительного. Среди возможных причин нарушения кислородного обмена при многократном вибрационном воздействии, по всей вероятности, важное значение имеет увеличение кровотока в тканях за счет капиллярно-венозных шунтов, нарушение диффузии кислорода на участке кровь – ткань, а также снижение окислительно-восстановительного потенциала самих тканей.

Поступила 25.04.19

Ընդհանուր ուղղահայաց թրթռահարման ազդեցությունը կենդանիների կողմից թթվածնի յուրացման մակարդակի վրա

**Ս.Ս. Մինասյան, Է.Ս. Գևորգյան, Ծ.Ի. Ադամյան,
Լ.Է. Ղուկասյան, Ս.Հ. Սարգսյան**

Ուսումնասիրվել է թթվածնի յուրացման և սուկցինատդեհիդրոգենազի ակտիվության փոփոխությունը տարբեր հաճախությամբ թրթռահարման ազդեցությամբ: Ենթափորձային կենդանիների մոտ թրթռահարման պայմաններում նկատվել է թթվածնի յուրացման փոփոխություն, որի բնույթը և մեծությունը սերտորեն կապված են դինամիկական գործոնի ցուցանիշների հետ: 40 Հց հաճախության թրթռման ազդեցության սկզբնական փուլում (15–30 րոպե) դիտվում է թթվածնի յուրացման ուժեղացում, իսկ երկրորդ փուլում (45–60 րոպե)՝ նվազում: Համեմատաբար ավելի բարձր հաճախությամբ (80 Հց) թրթռումը նույնպես առաջացնում է թթվածնի յուրացման ուժեղացում և սուկցինատդեհիդրոգենազի ակտիվության բարձրացում առաջին 15–30 րոպեներին, իսկ 30–60 րոպեներին՝ նվազում: Երկարատև երկամսյա թրթռահարման դեպքում առաջին 3–4 շաբաթվա ընթացքում դիտվում է թթվածնի յուրացման ուժեղացում (15–30 րոպեներին), իսկ 45-րդ օրից սկսած՝ առնետների մոտ նկատվում է թթվածնի յուրացման և սուկցինատդեհիդրոգենազի ակտիվության նվազում: Թրթռահարման 60-րդ օրը նկատված տեղաշարժերը մոտենում են ելակետային մակարդակին:

The Effect of Total Vertical Vibration on the Level of Oxygen Consumption by Animals

S.M. Minasyan, E.S. Gevorgyan, Ts.I. Adamyan, L.E. Ghukasyan,
S.H. Sargsyan

The importance of the oxygen effect in the mechanism of vibration exposure is presented in this study. We studied the change in oxygen absorption and the activity of succinate dehydrogenase. In response to a vibratory stimulus in experimental animals, a change in the level of oxygen consumed was observed, the nature and magnitude of which were closely related to the parameters of the dynamic factor. In the initial phase (15–30 min) of exposure to a single medium-frequency vibration, intense absorption of oxygen is observed, and in the second phase (45–60 minutes) it decreases. The relatively high-frequency vibration (80 Hz) also caused an increase in oxygen consumption and activity for 30 minutes, and a decrease in 30-60 minutes of vibration. With prolonged exposure to vibration (two months) in the first 3 weeks there was an increase in oxygen consumption during vibration (15–30 min). Starting from the 45th day in rats, a decrease in oxygen consumption and the activity of LDHs was observed and by 60 days it was approaching the initial level.

Литература

1. *Балан Г.М.* Мышечные нарушения при вибрационной болезни и оценка степени их выраженности. Гиг. труда и проф. заболевания, 1986, 11, с. 5–9.
2. *Воробьева В. В.* Активность систем энергопродукции миокарда при воздействии общей вибрации в эксперименте. Пермский мед. журнал, 2006, т. 23, 3, с. 6–13.
3. *Лебедева А.Ф.* Газообмен у больных вибрационной болезнью, вызванной воздействием локальной вибрации. Труды Ленинградского сан.-гигиенического мед. ин-та, 1964, т. 78, с. 253–258.
4. *Мельникова М.М.* Вибрационная болезнь. Мед. труда и пром. экология, 1995, 5, с. 36–42.
5. *Меньшов А.А., Баранов Н.П.* Изменение энергетического обмена в тканях животных, подвергнутых действию постоянной и прерывистой вибрации. Бюл. экспер. биологии и медицины, 1978, т. 86, 7, с. 35–38.
6. *Панков В.А., Дьякович М.П.* Применение модельных исследований в задаче прогнозирования развития вибрационной болезни. Мед. труда и пром. экология, 2003, 3, с. 1–5.
7. *Псадуллаев М.М.* Состояние регионарного мозгового кровообращения у лиц с сосудистой патологией головного мозга, работающих в условиях вибрации. Мед. журнал Узбекистана, 1984, т. 5, с. 55–57.
8. *Смирнова Е.Л., Потеряева Е.Л., Никифорова Н.Г.* Индивидуальные особенности перекисного окисления липидов и антиоксидантной защиты у лиц с вибрационной болезнью в послеконтактном периоде. Мед. труда и пром. экология, 2010, 8, с. 36–40.
9. *Трапезникова Н.К.* Влияние вибрации на окислительно-восстановительные процессы некоторых органов и тканей кроликов. Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физкультуры, 1974, 5, с. 461–465.