

ИЗМЕНЕНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ МИКРОЦИРКУЛЯЦИИ КРОВИ У СТУДЕНТОВ В ТЕЧЕНИЕ ДНЯ

О.А. Гурова¹

Российский университет дружбы народов, Москва

С целью изучения изменений показателей микроциркуляции крови в течение учебного дня обследованы 15 студентов в возрасте 17-19 лет. Исследование проводилось 3 раза в течение дня: в 10-12, в 14-16 и в 18-20 часов. Использовался прибор ЛАКК-ОП, в котором реализуются методы лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ), оптической тканевой оксиметрии (ОТО) и пульсоксиметрии. Результаты свидетельствуют о снижении к 18-20 часам перфузии тканей кровью и потребления кислорода тканями. В 14-16 часов в регуляции микроциркуляции уменьшается активность вазомоторных механизмов и усиливается роль пульсовых и дыхательных влияний, что свидетельствует о напряжении в регуляции сердечно-сосудистой системы в середине учебного дня.

Ключевые слова: микроциркуляция крови, лазерная доплеровская флоуметрия, оптическая тканевая оксиметрия, студенты.

Change of blood microcirculation in students during the day. 15 students aged 17-19 years old were examined to study changes in blood microcirculation during the school day. The study was conducted three times a day: at 10-12, 2-4 and 6-8 p.m. To fulfill the study special apparatus "LAKK-OP" was used. It applies the methods of laser Doppler flowmetry (LDF), optical tissue oximetry and pulse oximetry. The results show that tissue blood perfusion and oxygen consumption decrease by 6-8 p.m. At 2-4 p.m. vasomotor mechanisms become less active while the role of pulse and respiratory effects grow. It designates certain strain in the work of cardiovascular system in the middle of a school day.

Key words: blood microcirculation, laser Doppler flowmetry, optical tissue oximetry, students.

При адаптации организма студентов к учебной деятельности меняются показатели функционирования различных его систем, в том числе сердца и сосудов [2-4]. Состояние системы микроциркуляции крови тесно взаимосвязано со сдвигами в центральной гемодинамике и влияет на способность организма к адаптации. На уровне микрососудов осуществляется обмен между тканями и кровью, поэтому состояние микроциркуляции определяется не только законами кровообращения, но и метаболическими потребностями окружающих капилляры тканей [1,5,7]. Наблюдение за состоянием микроциркуляции при адаптации к учебной нагрузке позволит изучить тонкие механизмы регуляции сосудисто-тканевых отношений.

Цель данного исследования – изучить изменение показателей микроциркуляции крови у студентов в течение учебного дня.

Контакты: ¹ Гурова О.А., E-mail: <oagur@list.ru>

ОРГАНИЗАЦИЯ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В исследовании приняли участие 15 студентов в возрасте 17-19 лет (в среднем $18,7 \pm 0,3$), из них 6 юношей и 9 девушек. У каждого испытуемого показатели регистрировали 3 раза в течение дня: утром – с 10 до 12 часов, днем – с 14 до 16, и вечером – с 18 до 20 часов. Состояние микроциркуляции крови оценивалось с помощью анализатора лазерного микроциркуляции крови «ЛАКК-ОП» (НПО «Лазма», г. Москва) в коже 4-го пальца кисти. Данная модификация прибора позволяет использовать метод лазерной доплеровской флоуметрии (ЛДФ) в сочетании с оптической тканевой оксиметрией (ОТО) и традиционной пульсоксиметрией, что существенно расширяет возможности диагностики состояния микроциркуляции. Запись показателей производилась в положении испытуемого сидя, световодный зонд с помощью фиксатора устанавливался на 4-й палец левой руки (для показателей ЛДФ и ОТО), датчик пульсоксиметра – на 4-й палец правой руки.

Методом ЛДФ [6; 7] регистрируется величина перфузии тканей кровью, или показатель микроциркуляции (ПМ), а также его среднее квадратичное отклонение (СКО), характеризующее изменчивость потока крови. При специальном математическом анализе, основанном на вейвлет-преобразовании, выявляются гармонические составляющие колебаний кровотока. Различают колебания активной природы, характеризующие миогенный (Ам), нейрогенный (Ан) и эндотелиальный (Аэ) механизмы регуляции микроциркуляции, и «пассивные» колебания, обусловленные дыхательными движениями (Ад) и сердечным ритмом (Ас). Вклад этих колебаний в общую мощность спектра рассчитывается в %.

Испытуемые выполняли две функциональные пробы. При задержке дыхания в течение 15 с на уровне глубокого вдоха, что вызывает констрикцию артериол и уменьшение кожного кровотока вследствие усиления симпатических влияний, рассчитывается индекс дыхательной пробы (ИДП) по величине снижения ПМ. Оклюзионная проба, при которой производится пережатие плеча левой руки манжетой тонометра на 3 мин, позволяет определить резерв кровотока (РКК).

Методом оптической тканевой оксиметрии (ОТО) оценивается сатурация SO_2 крови в микроциркуляторном русле, содержащем артериолы с оксигемоглобином, капилляры с окси- и дезоксигемоглобином и вены с дезоксигемоглобином, то есть определяется сатурация смешенной крови. Этим методом оценивается также относительный объем фракции эритроцитов V_t в области исследования.

Методом пульсоксиметрии определяется уровень насыщения артериальной крови кислородом SpO_2 . Из соотношения сатурации кислорода в артериальной крови и сатурации крови в микрососудах рассчитывается индекс удельного потребления кислорода в ткани (I): $I = (1 - SO_2 / SpO_2) \times ПМ \times Ам / Ан$.

Перед каждым исследованием микроциркуляции у студентов измеряли артериальное давление (АД) на плечевой артерии с помощью тонометра.

Полученные данные обработаны методами вариационной статистики.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Динамика показателей микроциркуляции у студентов в течение учебного дня представлена в таблице 1. Уровень перфузии тканей кровью (показатель ПМ) относительно стабилен в утренние и дневные часы, но имеет тенденцию к снижению

в вечернее время на 10% и более. Значения СКО к 18-20 часам достигают максимальной величины. Такая динамика свидетельствует об увеличении к концу дня активности механизмов модуляции тканевого кровотока и согласуется с полученными ранее данными [8].

Таблица 1

Динамика показателей ЛДФ у студентов в течение дня

Показатели микроциркуляции	Момент исследования		
	10-12 час	14-16 час	18-20 час
Показатель микроциркуляции – ПМ, перф. ед.	20,0 ± 1,8	20,7 ± 1,1	18,6 ± 1,8
Среднее квадратичное отклонение – СКО, перф. ед.	1,39 ± 0,23	1,23 ± 0,25	1,77 ± 0,31
Соотношение ритмических составляющих тканевого кровотока			
Аэ, перф.ед.	0,41 ± 0,08	0,36 ± 0,12	0,78 ± 0,21
Ан, перф.ед.	0,84 ± 0,21	0,63 ± 0,2	0,92 ± 0,19
Ам, перф.ед.	0,81 ± 0,14	0,6 ± 0,1	0,85 ± 0,15
Ад, перф.ед.	0,37 ± 0,04	0,33 ± 0,02	0,35 ± 0,04
Ас, перф.ед.	0,43 ± 0,06	0,37 ± 0,03	0,46 ± 0,06
Вклад «активных» влияний на микрокровоток (э,н,м), %	82,8 ± 4,2	77,9 ± 3,7	86,9 ± 4,1
Вклад «пассивных» влияний на микрокровоток (д, с), %	17,2 ± 1,8	22,1 ± 1,9	13,2 ± 1,2
Реактивность микрососудов на задержку дыхания ИДП, %	51,0 ± 6,3	38,7 ± 7,4	43,9 ± 5,4
Реактивность микрососудов на окклюзионную пробу РКК, %	146,4 ± 19,8	135,3 ± 10,3	147,2 ± 19,9

Анализ соотношения ритмических составляющих тканевого кровотока позволяет установить более тонкие механизмы этих изменений. Наибольшую амплитуду в течение всего времени наблюдения имеют низкочастотные колебания активной природы (Аэ, Ан, Ам), что характерно для устойчивого вазомоторного ритма. Однако амплитуда этих колебаний существенно снижается от 10-12 к 14-16 часам и вновь растет в 18-20 часов (табл. 1). Уменьшение амплитуды высокочастотных колебаний (Ад, Ас) в дневные часы не столь выражено.

Расчет вклада отдельных компонентов в общую мощность спектра колебаний позволяет установить значение разных механизмов для регуляции микроциркуляции в момент наблюдения. Вклад эндотелиального компонента (Аэ) возрастает с 9,1 % в утренние часы до 24,3 % вечером. Вклад нейрогенной (Ан) и миогенной

(Ам) составляющих регуляции, наоборот, снижается с 38,2 и 35,5 % в 10-12 часов до 33,9 и 28,7 % в 18-20 часов, соответственно. Суммарный вклад активных влияний на кровоток, связанных с изменениями тонуса сосудов, в утренние часы составляет 82,8 %, днем снижается до 77,9 %, а вечером вновь возрастает до 86,9 %. Вклад в общую мощность спектра ЛДФ-граммы высокочастотных дыхательного (Ад) и сердечного (Ас) ритмов в 10-12 часов составляет 17,2 %, наибольшие значения имеет в 14-16 часов – 22,1 %, а наименьшие в 18-20 часов – 13,2 %.

Динамика показателей амплитудно-частотного спектра ЛДФ-грамм указывает на сбалансированность активных (сосудистых) и пассивных (центральных) механизмов регуляции микроциркуляции в утренние часы, ослабление активных вазомоторий и увеличение влияния на микроциркуляцию крови сердечного и дыхательного компонентов в 14-16 часов, и последующее усиление активных сосудистых механизмов регуляции микроциркуляции (преимущественно, за счет эндотелиального компонента) в 18-20 часов.

Ослабление активных сосудистых механизмов регуляции микроциркуляции приводит к снижению в 14-16 часов и реактивности микрососудов на дыхательную и окклюзионную пробы. В это время существенно ($p \leq 0,05$) уменьшается реактивность микрососудов при задержке дыхания (ИДП): с $51,0 \pm 6,3$ до $38,7 \pm 7,4$ %. Полного восстановления ИДП не наблюдается и в 18-20 часов.

Показатели реактивности микрососудов на 3-х минутную окклюзионную пробу в утренние и вечерние часы фактически не различаются: резерв кровотока (РКК) – прирост ПМ после падения его значений при пережатии магистральной артерии – составляет $147,2 \pm 19,9$ %. В 14-16 часов РКК снижается до $135,3 \pm 10,3$ %. По-видимому, усиление метаболической составляющей регуляции, которая определяется ростом эндотелиального компонента Аз, играет решающую роль в поддержании РКК на высоком уровне в 18-20 часов.

Таким образом, наибольшее напряжение в регуляции микрокровотока отмечается в середине дня: в 14-16 часов. В это время наблюдается тенденция к увеличению ПМ и снижению СКО, что может свидетельствовать о некотором затруднении микроциркуляции и застое крови. Соотношение между «активными» и «пассивными» влияниями на микрокровоток в 14-16 часов изменяется в сторону снижения суммарного вклада в общую мощность спектра колебаний активной природы.

Полученные данные согласуются с результатами исследования вариабельности сердечного ритма, динамика показателей которого свидетельствует об увеличении в середине учебного дня активности центральных механизмов регуляции ритма сердца и ослаблении автономных механизмов [2]. В 14-16 часов симпатический контур регуляции имеет наибольшую активность, парасимпатический – наименьшую. В вечернее время показатели активности всех контуров регуляции (симпатического, парасимпатического и гуморально-метаболического) отличаются наибольшей величиной, которая, однако, не имеет достоверных различий с величиной показателей в 10-12 часов.

Показатели артериального давления у обследованных студентов в течение дня также менялись. Систолическое АД имело тенденцию к снижению от 118 ± 2 в 10-12 часов до 115 ± 1 мм рт. ст. в 14-16 часов и сохранялось на этом уровне до 18-20 часов. Диастолическое АД росло с 71 ± 2 утром до 74 ± 2 днем и 75 ± 1 мм рт. ст. вечером. Таким образом, снижение пульсового давления с 47 ± 1 до 41 ± 1 мм рт. ст.

($p \leq 0,05$) происходило в 14-16 часов и сохранялось на этом уровне до вечера. Сходная динамика показателей АД (рост диастолического давления) и variability сердечного ритма (усиление симпатических влияний) отмечалась у студентов при увеличении напряженности в учебной деятельности [3; 4].

Изменение показателей центральной гемодинамики, а также состояния микро-сосудов в течение учебного дня у студентов определяют результат кровообращения – доставку кислорода тканям. Насыщение артериальной крови кислородом SpO_2 , определяемое методом пульсоксиметрии, фактически не изменяется от 10-12 до 18-20 часов и составляет у разных испытуемых 96-97 %.

В течение дня наблюдается тенденция к увеличению насыщения крови микро-циркуляторного русла кислородом: показатель SO_2 растет с $71,3 \pm 1,9$ % в 10-12 часов до $75,1 \pm 3,4$ % в 18-20 часов (табл. 2). Вместе с тем, относительный объем фракции эритроцитов Vr имеет тенденцию к снижению с $8,5 \pm 0,6$ до $7,5 \pm 0,7$ % в течение дня, что также влияет на потребление кислорода тканями. Поэтому индекс удельного потребления кислорода в ткани I в течение дня имеет тенденцию к снижению: в 10-12 часов он равен $52,6 \pm 3,4$, в 14-16 часов – $51,3 \pm 2,6$, в 18-20 часов – $49,9 \pm 5,6$ усл. ед.

Таблица 2

Динамика показателей ОТО у студентов в течение дня

Показатели	Момент исследования		
	10-12 час	14-16 час	18-20 час
Сатурация крови в микро-циркуляторном русле – SO_2 , %	$71,3 \pm 1,9$	$74,4 \pm 3,2$	$75,1 \pm 3,4$
Относительный объем фракции эритроцитов – Vr , %	$8,5 \pm 0,6$	$8,0 \pm 0,5$	$7,5 \pm 0,7$
Индекс удельного потребления кислорода в ткани – I , усл. ед.	$52,6 \pm 3,4$	$51,3 \pm 2,6$	$49,9 \pm 5,6$

Можно предположить, что наблюдаемая тенденция к снижению в течение дня потребления кислорода тканями кожи обусловлена, в первую очередь, изменением в состоянии микро-сосудов, в то время как центральные механизмы обеспечивают достаточно стабильный уровень насыщения крови кислородом. По-видимому, имеет значение и перераспределение крови между кожей и другими, работающими органами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При наблюдении с 10 до 20 часов за состоянием микроциркуляции крови в коже кисти у студентов установлено, что уровень перфузии тканей кровью относительно стабилен в утренние и дневные часы, но имеет тенденцию к снижению в

вечернее время. Параллельно наблюдается тенденция к уменьшению потребления кислорода тканями.

В 14-16 часов, по сравнению с 10-12 часами, отмечается ослабление активных вазомоторных механизмов регуляции микрокровотока и усиление роли пульсовых и дыхательных влияний. В 18-20 часов роль активных механизмов регуляции микроциркуляции вновь возрастает. Отмечается определенный параллелизм в изменениях на уровне микроциркуляторного русла и в регуляции сердечного ритма: в 14-16 часов наблюдался выраженный рост активности центральных механизмов регуляции сердечной деятельности и их преобладание над автономными механизмами [2].

Таким образом, в середине учебного дня (14-16 часов) в регуляции на всех уровнях сердечно-сосудистой системы ведущее значение имеют центральные механизмы; активность автономных и собственно сосудистых (эндотелиального, миогенного) механизмов регуляции в это время снижается. Это указывает на напряжение в регуляции сердечно-сосудистой системы у студентов и снижение функциональных резервов их организма в середине учебного дня.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Васильев А.П., Стрельцова Н.Н. Возрастные особенности микрогемодициркуляции // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. – 2012. – Т. 11, № 4 (44). – С. 23-27.
2. Гурова О.А., Тарбаева Е.А., Сафронова Е.Ю. Дневная динамика вариабельности сердечного ритма у студентов // Новые исследования. – 2012. – № 3 (30). – С. 32-36.
3. Димитриев Д.А., Димитриев А.Д., Карпенко Ю.Д. и др. Влияние экзаменационного стресса и психоэмоциональных особенностей на уровень артериального давления и регуляцию сердечного ритма у студенток // Физиология человека. – 2008. – Т. 34. – № 5. – С. 89-96.
4. Минасян С.М., Геворкян Э.С., Адамян Ц.И. и др. Изменение кардиогемодинамических показателей и ритма сердца студентов под воздействием учебной нагрузки // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. – 2006. – Т. 92, № 7. – С. 817-826.
5. Козлов В.И. Развитие системы микроциркуляции. – М.: РУДН, 2012. – 314 с.
6. Козлов В.И., Азизов Г.А., Гурова О.А., Литвин Ф.Б. Лазерная доплеровская флоуметрия в оценке состояния и расстройств микроциркуляции крови. – М.: ГНЦ лазерной медицины, 2012. – 32 с.
7. Крупаткин А.И., Сидоров В.В. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови. – М.: Медицина, 2005. – 254 с.
8. Станишевская Т.И. Индивидуально-типологические особенности микроциркуляции крови у девушек-студенток с разным соматотипом: Дис. ... канд. биол. наук: 14.03.01 и 14.03.03. – М.: РУДН, 2006. – 190 с.