

П. В. Михайлов, В. В. Афанасьев, М. Н. Жуков, И. А. Осетров, А. М. Тельнова, А. А. Муравьев, Ю. Л. Масленникова

Оценка функционального состояния системы микроциркуляции у лиц с разным уровнем аэробной работоспособности

Проблемам микроциркуляции посвящено много работ, но крайне малая их часть касается взаимосвязи показателей, отражающих состояние микрососудистой системы с работоспособностью человека. В исследовании применены современные неинвазивные методы, позволяющие исследовать кровоток на уровне микрососудов в условиях покоя и во время проведения функциональных проб.

Ключевые слова: микроциркуляция, максимальное потребление кислорода, лазерная доплеровская флоуметрия, перфузия, кислородная сатурация.

P. V. Mikhaylov, V. V. Afanasiev, M. N. Zhukov, I. A. Osetrov, A. M. Telnova, A. A. Muravyov, Ju. L. Maslennikova

Evaluation of the Functional State of Microcirculation in Patients with Different Levels of an Aerobic Working Capacity

Many papers are devoted to problems of microcirculation, but a very small part of them regard the correlation of indicators of the microvascular system with a human working capacity. In this research we applied the modern non-invasive methods in order to study the blood flow at the level of microvessels in conditions of rest and during functional tests.

Keywords: microcirculation, maximal oxygen consumption, laser Doppler flowmetry, perfusion, oxygen saturation.

Исходя из концепции физического (соматического) здоровья, основным его критерием следует считать энергопотенциал биосистемы, поскольку жизнедеятельность любого живого организма зависит от возможности потребления энергии из окружающей среды, ее аккумуляции и мобилизации для обеспечения физиологических функций [1]. Чем больше мощность и емкость реализуемого энергопотенциала, а также эффективность его расходования, тем выше уровень здоровья индивида. Доля аэробной энергопродукции является преобладающей в общей сумме энергопотенциала, поэтому величина максимального потребления кислорода (МПК) является основным критерием его физического здоровья и жизнеспособности.

Величина МПК в значительной степени детерминирована функциональными резервами системы кровообращения, базисным элементом которой является микроциркуляция (МЦ), именно в данной части сердечно-сосудистой системы реализуется ключевой процесс жизнедеятельности организма – транскапиллярный обмен [3, 6, 7].

Материал и методы

В исследовании приняли участие лица женского пола в возрасте 19–24 года в количестве 26 человек. Для определения аэробной работоспособности применяли тест PWC_{170} со ступенчато возрастающей мощностью (25 Вт в минуту) с последующим вычислением величины максимального потребления кислорода. На основании величины МПК/кг все испытуемые были разделены на 2 группы. Для разделения использовали медианный тест ($Me=49,8$ мл/мин./кг). Первую группу составили лица с более высоким уровнем МПК/кг ($55,5\pm 3,5$ мл/мин./кг), а вторую – с относительно низким ($42,7\pm 5,3$ мл/мин./кг).

Для характеристики физического развития и функционального состояния определяли антропометрические показатели, гемодинамические показатели в состоянии покоя: частоту сердечных сокращений (ЧСС), артериальное давление (АД), рассчитывали двойное произведение (ДП).

Микроциркуляцию исследовали с использованием анализатора ЛАКК-03, в котором реализованы две неинвазивные медицинские технологии: лазерная доплеровская флоуметрия (ЛДФ)

и оптическая тканевая оксиметрия (ОТО). Одновременно регистрировали три параметра микроциркуляции крови: изменение перфузии ткани кровью, динамику изменения кислородной сатурации (оксигенации) крови SO_2 и изменение объема фракции гемоглобина Vкр.

В процессе записи ЛДФ-граммы проводили окклюзионную пробу (ОП), которая реализуется путем пережатия на 3 минуты участка конечности манжетой тонометра таким образом, чтобы вызвать остановку кровотока и соответственно ишемию в исследуемой области. После прекращения окклюзии кровоток восстанавливается и развивается реактивная постокклюзионная гиперемия, которая проявляется в увеличении показателя микроциркуляции до величины, превышающей исходный уровень ПМ с последующим спадом до исходного уровня [5].

Согласно экспериментальным исследованиям постокклюзионная реактивная гиперемия является нейрогенной реакцией, реализующейся преимущественно через высвобождение нейропептида КГРП (кокальцигенина) и нейронального оксида азота, секретлируемых афферентными ноцицептивными С-волоконками. Эти факторы индуцируют синтез NO эндотелием, который, в свою очередь, воздействуя на гладкую мускулатуру сосудов, вызывает вазодилатацию [4, 8, 9].

Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы

Statistica 6.0. Регистрировали среднее значение и стандартное отклонение исследуемых показателей. В случае нормального распределения цифровых данных межгрупповые различия определяли, используя t-критерий Стьюдента, при несоответствии данных закону нормального распределения применяли критерий Манна-Уитни.

Результаты исследования

Показатели, характеризующие физическое развитие и функциональное состояние испытуемых, представлены в таблице 1. Средние значения длины тела в обеих группах достоверно не отличались и составили $162,3 \pm 4,7$ см и $166,3 \pm 5,8$ см. В первой группе масса тела была меньше ($51,7 \pm 3,6$ кг), чем во второй ($64,1 \pm 10,7$ кг), разница составила 24,1 % ($p < 0,01$). Соответственно и при расчете весового индекса (ВРИ) достоверно меньшие его значения были получены в первой группе. В показателях кистевой динамометрии и ЖЕЛ статистически значимых различий между группами выявлено не было. При оценке потенциальных возможностей дыхательной системы более информативным показателем является ЖИ. Более высокие его значения были получены в группе 1 ($56,9 \pm 8,4$). В группе 2 он составил $48,2 \pm 9,7$ ($p < 0,05$).

Таблица 1

Показатели физического развития и функционального состояния испытуемых с разным уровнем аэробной работоспособности ($M \pm \sigma$)

Показатели	Группа 1 (n=13)	Группа 2 (n=13)	Разница, %	P
Рост, см	$162,3 \pm 4,7$	$166,3 \pm 5,8$	2,5	-
Масса, кг	$51,7 \pm 3,6$	$64,1 \pm 10,7$	24,1	$< 0,01$
ВРИ	$318,1 \pm 18,5$	$385,0 \pm 61,7$	21,0	$< 0,01$
Динамометр. кист., пр.	$28,8 \pm 3,9$	$30,8 \pm 4,9$	6,9	-
Динамометр. кист., лев.	$27,4 \pm 3,4$	$28,7 \pm 5,3$	4,7	-
ЖЕЛ, мл	$2923,1 \pm 409,6$	$3046,2 \pm 366,0$	3,6	-
ЖИ	$56,9 \pm 8,4$	$48,2 \pm 9,7$	15,3	$< 0,05$
ЧСС, уд./мин.	$70,6 \pm 9,8$	$81,4 \pm 11,6$	15,3	$< 0,05$
АДс, мм рт. ст.	$107,0 \pm 5,7$	$118,4 \pm 10,6$	10,6	$< 0,05$
АДд, мм рт. ст.	$69,5 \pm 5,4$	$75,3 \pm 8,1$	8,3	-
ДП	$79,9 \pm 12,3$	$91,8 \pm 22,6$	14,9	-

ЧСС в состоянии покоя в первой группе была $70,6 \pm 9,8$ уд./мин., а во второй – $81,4 \pm 11,6$ уд./мин. Разница составила 15,3 %. Более низкие, чем в группе 2 ($118,4 \pm 10,6$ мм рт. ст.), значения систолического АД были зарегистрированы в группе 1 ($107,0 \pm 5,7$ мм рт. ст.). Вышеуказанные

различия показателей центральной гемодинамики между группами были статистически значимыми. При расчете ДП меньшие значения были получены в первой группе ($79,8 \pm 13,4$). В группе 2 этот показатель был на 9,3 % выше ($88,0 \pm 16,4$), что свидетельствует о более экономичной работе

сердечно-сосудистой системы в состоянии покоя у лиц первой группы.

Анализ зарегистрированных ЛДФ-грамм позволил получить следующие результаты (табл. 2). Исходный показатель микроциркуляции (ПМ) до окклюзии в группе 1 был равен $10,8 \pm 3,9$ пф. ед., а в группе 2 – $23,4 \pm 8,7$ пф. ед. Разница составила 116,7 %. В процессе окклюзии ПМ снизился в первой группе на 27,8 % ($7,7 \pm 2,7$

пф. ед.), а во второй – на 62,4 % ($8,8 \pm 2,4$ пф. ед.). Максимальное значение показателя микроциркуляции в процессе развития реактивной постокклюзионной гиперемии в первой группе было равно $17,7 \pm 8,7$ пф. ед., а во второй группе – $31,9 \pm 15,2$ пф. ед. Резерв кровотока составил 66,8 % и 31,9 % в первой и второй группах соответственно.

Таблица 2

Изменение перфузии при проведении окклюзионной пробы у лиц с разным уровнем аэробной работоспособности ($M \pm \sigma$)

Показатели	Группа 1 (n=13)	Группа 2 (n=13)	Разница, %	P
ПМ _{исх} , пф. ед.	$10,8 \pm 3,9$	$23,4 \pm 8,7$	116,7	<0,01
ПМ _{оккл} , пф. ед.	$7,7 \pm 2,7$	$8,8 \pm 2,4$	14,3	-
ПМ _{макс} , пф. ед.	$17,7 \pm 8,7$	$31,9 \pm 15,2$	80,2	<0,01
РК, %	66,8	31,9	79,1	-

Обозначения: ПМ_{исх} – среднее значение показателя микроциркуляции в перфузионных единицах (пф. ед.) до окклюзии; ПМ_{оккл} – показатель микроциркуляции в процессе окклюзии; ПМ_{макс} – максимальное значение ПМ в процессе развития реактивной постокклюзионной гиперемии; РК – резерв кровотока, рассчитывается как отношение ПМ_{макс} к ПМ_{исх}.

В таблице 3 представлены средние значения сатурации крови в группах. Следует учесть, что оптическая тканевая оксиметрия анализатора ЛАКК-03 воспринимает одновременно информацию с нескольких звеньев микроциркуляторного русла биоткани (мелкие венулы, артериолы, артериовенозные шунты и капилляры), поэтому определяемый прибором относительный показатель SO₂ отражает, в отличие от приборов пульсоксиметрии, среднее относительное содержание в крови HbO₂, усредненное по всему микрососудистому руслу [5].

Исходный показатель SO₂ в первой группе был равен $41,7 \pm 16,4$ отн. ед., а во второй – $54,9 \pm 8,4$ отн. ед. Разница составила 31,7 % и была статистически достоверной ($p < 0,05$). В результате окклюзии произошло снижение SO₂ в группе 1 на 37,9 % ($25,9 \pm 26,8$ отн. ед.), а в группе 2 на 49,4 % ($27,8 \pm 16,7$ отн. ед.). Максимальное значение показателя SO₂ в процессе развития реактивной постокклюзионной гиперемии в группе 1 достигло $47,7 \pm 15,4$ отн. ед., прирост составил 84,2 %. Во второй этот показатель увеличился на 114,0 % и составил $59,5 \pm 7,3$ отн. ед.

Таблица 3

Среднее значение кислородной сатурации крови при проведении окклюзионной пробы у лиц с разным уровнем аэробной работоспособности ($M \pm \sigma$)

Показатели	Группа 1 (n=13)	Группа 2 (n=13)	Разница, %	P
SO ₂ _{исх}	$41,7 \pm 16,4$	$54,9 \pm 8,4$	31,7	<0,01
SO ₂ _{оккл}	$25,9 \pm 26,8$	$27,8 \pm 16,7$	7,3	-
SO ₂ _{макс}	$47,7 \pm 15,4$	$59,5 \pm 7,3$	24,7	<0,01

Обозначения: SO₂_{исх} – среднее значение сатурации крови до окклюзии; SO₂_{оккл} – значение сатурации в процессе окклюзии; SO₂_{макс} – максимальное значение сатурации в процессе развития реактивной постокклюзионной гиперемии.

Поскольку оптическое поглощение света кровью в указанных спектральных диапазонах длин волн происходит, в основном, за счет поглощения света гемоглобином крови (в разных его

фракциях), то регистрируемый и индицируемый прибором параметр V_r характеризует относительное (процентное) содержание гемоглобина в общем тестируемом объеме биоткани [5].

Таблица 4

Изменение объема фракции гемоглобина в крови при проведении окклюзионной пробы у лиц с разным уровнем аэробной работоспособности (M±σ)

Показатели	Группа 1 (n=13)	Группа 2 (n=13)	Разница, %	P
V _{Г_{исх}}	8,9±3,1	14,3±2,7	60,7	<0,01
V _{Г_{оккл}}	5,9±3,2	10,7±4,3	44,9	<0,01
V _{Г_{макс}}	10,7±4,5	15,4±3,4	31,5	<0,01

Обозначения: V_{Г_{исх}} – объем фракции гемоглобина в крови до окклюзии; V_{Г_{оккл}} – объем фракции гемоглобина в крови в процессе окклюзии; V_{Г_{макс}} – объем фракции гемоглобина в крови в процессе развития реактивной постокклюзионной гиперемии.

Изменения объема фракции гемоглобина (V_Г) в крови при проведении окклюзионной пробы у лиц с разным уровнем аэробной работоспособности приведены в таблице 4. Показатель V_Г до окклюзии в группе 1 был равен 8,9±3,1, тогда как в группе 2 он был на 60,7 % больше (14,3±2,7). Различия были статистически достоверны (p<0,01). В процессе окклюзии V_Г снизился в первой группе на 33,7 % (5,9±3,2), во второй – на 25,2 % (10,7±4,3). Максимальное значение V_Г в процессе развития реактивной постокклюзионной гиперемии в первой группе составило 10,7±4,5, а во второй – 15,4±3,4, прирост составил 81,4 % и 43,9 % соответственно.

Корреляционный анализ показал, что теснота взаимосвязи между величиной МПК/кг и исходным показателем микроциркуляции выражается коэффициентом корреляции -0,48, а после развития реактивной постокклюзионной гиперемии он возрастает до -0,58. Следует отметить, что имеется положительная взаимосвязь показателя

микроциркуляции до и после окклюзии с данными центральной гемодинамики в покое. Наиболее высокие значения коэффициента корреляции были выявлены между ПМисх и ДП, а также ПМмакс и ДП (r=0,42 и r=0,60 соответственно)

Заключение

Анализ ЛДФ-грамм показал, что у испытуемых с более высокой аэробной работоспособностью исходные показатели перфузии тканей, кислородной сатурации и относительного объема фракции гемоглобина были ниже, что согласуется с результатами гемодинамических измерений и указывает на меньшую интенсивность кровотока в покое. Более выраженный прирост вышеуказанных показателей в период развития реактивной постокклюзионной гиперемии свидетельствует о больших адаптационных резервах и функциональных возможностях кровотока у данной категории лиц.

Библиографический список

1. Апанасенко, Г. Л., Науменко, Р. Г. Соматическое здоровье и максимальная аэробная способность индивида [Текст] / Г. Л. Апанасенко, Р. Г. Науменко // Теор. и практ. физ. культ. – 1988. – №4. – С. 29–31.
2. Аулик, И. В. Определение физической работоспособности в клинике и спорте [Текст] / И. В. Аулик. – М. : Медицина, 1990. – 430 с.
3. Карпман, В. Л., Любина, Б. Г. Динамика кровообращения у спортсменов [Текст] / В. Л. Карпман, Б. Г. Любина. – М. : ФиС, 1982. – 135 с.
4. Косякова, Н. И. Динамика амплитуд колебаний периферического кровотока в процессе развития постокклюзионной реактивной гиперемии у условно-здоровых добровольцев [Текст] / Н. И. Косякова, Н. К. Чемерис, А. В. Танканаг, И. В. Тихонова. – Российский физиологический журнал. – 2006. – №12. – С. 1429–1435.
5. Крупаткин, А. И., Сидоров, В. В. Лазерная доплеровская флоуметрия микроциркуляции крови [Текст] / А. И. Крупаткин, В. В. Сидоров. – М. : Медицина, 2005. – 254 с.
6. Малая, Л. Т. Микроциркуляция в кардиологии [Текст] / Л. Т. Малая, И. Ю. Микляев, П. Г. Кравчун. – Харьков : Выща школа, 1977. – 232 с.
7. Чернух, А. М. Микроциркуляция [Текст] / А. М. Чернух, П. Н. Александров, О. В. Алексеев. – М. : Медицина, 1984.
8. Fromy B., Abraham P., Bouvet C., Bouhanick B., Fressinaud P., Saumet J.L. Early Decrease of Skin Blood Flow in Response to Locally Applied Pressure in Diabetic Subjects // Diabetes. - 2002. - vol. 51. – p.1214-1217.
9. Fromy B., Merzeau S., Abraham P., Saumet J.L. Mechanisms of the coetaneous vasodilatator response to local external pressure application in rats: involvement of CGRP, neurokinins, prostaglandins and NO. // British Journal of Pharmacology. – 2000. -№ 131 - pp. 1161-1171.
10. Hermansen I, Wachtlova M. Capillary density of skeletal muscle in well-trained and untrained men // Journal of Applied Physiology.-1971.-V.30.-P.160-163.

