*ФИЗИОЛОГИЯ ЧЕЛОВЕКА, 2022, том 48, № 2, с. 71–78*

*УДК 612.13;616.1*

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МИКРОЦИРКУЛЯТОРНЫХ РЕАКЦИЙ НА ГИПОКСИЧЕСКИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ У ИСПЫТУЕМЫХ МУЖСКОГО И ЖЕНСКОГО ПОЛА

**© 2022 г. Л. В. Мезенцева[1, *], Е. Н. Дудник[2], Е. В. Никенина[1, 2]**

[1]*ФГБНУ Научно-исследовательский институт нормальной физиологии имени П.К. Анохина, Москва, Россия*

[2]*ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова МЗ РФ (Сеченовский университет), Москва, Россия*

**E-mail: l.v.mezentseva@mail.ru*

Поступила в редакцию 25.05.2021 г.
После доработки 23.06.2021 г.
Принята к публикации 21.09.2021 г.

В данном исследовании провели сравнительный анализ реакций на гипоксию показателей микроциркуляции (МЦР) височных областей головы у испытуемых мужского и женского пола. Исследования проводили у 20 здоровых добровольцев 18–19 лет (10 мужского пола и 10 женского пола). Состояние кратковременной гипоксии вызывали с использованием нормобарической установки *ReOxy Cardio* (*S.A. Aimediq*, Люксембург). Синхронные измерения показателей МЦР симметричных височных областей головы в исходном состоянии и сразу после кратковременного гипоксического воздействия проводили методом лазерной допплеровской флоуметрии. Оценивали статистические характеристики перфузии обеих сторон измерения и корреляционные взаимосвязи между изменениями показателей МЦР симметричных сторон наблюдения. Результаты исследований выявили половые различия реакций на гипоксические воздействия. У 80% мужчин гипоксия приводила к увеличению перфузии слева; у 20% – к уменьшению. У женщин наблюдалась обратная картина: у 90% перфузия слева уменьшалась, а у 10% – увеличивалась. Результаты исследований выявили особенности проявления лево-правосторонней асимметрии в регуляции показателей МЦР височных областей головы у мужчин и у женщин. Физиологические механизмы, лежащие в основе роли лево-правосторонней асимметрии в регуляции показателей МЦР мужского и женского мозга, требуют дальнейшего изучения.

*Ключевые слова:* гипоксия, микроциркуляция, асимметрия, половые различия.

**DOI:** 10.31857/S0131164622020114

Известно [1], что процессы адаптации организма человека к гипоксическим воздействиям не могут осуществляться без участия изменений в системе микроциркуляции (МЦР), причем эти процессы во многом зависят от индивидуальной чувствительности к гипоксии [2, 3], которая, в свою очередь, определяется как гено-фенотипическими, так и адаптивно-приобретенными особенностями организма. В то же время, в настоящее время установлена важная роль лево-правосторонней асимметрии в регуляции показателей МЦР парных органов человека и животных как в покое, так и в условиях внешних возмущающих воздействий [4–7]. В предыдущих исследованиях [7], были выявлены особенности компенсаторных реакций на гипоксию показателей МЦР симметричных областей височных областей головы человека у испытуемых мужского пола. В то же время известно [8–11], что мужской мозг отличается от женского мозга как по структурно-функциональным характеристикам, так и по характеристикам межполушарной асимметрии. Можно предположить, что эти различия могут приводить к различиям реакций показателей МЦР головы человека на гипоксические воздействия. Поэтому целью настоящего исследования явился сравнительный анализ реакций системы МЦР височных областей головы на гипоксические воздействия у испытуемых мужского и женского пола.

## МЕТОДИКА

Проводили синхронные измерения показателей МЦР у 20 здоровых добровольцев 18–19 лет (10 мужского пола и 10 женского пола) методом лазерной допплеровской флоуметрии (ЛДФ) с помощью двухканального прибора “ЛАКК-02” НПП “ЛАЗМА” (Россия). Датчики ЛДФ-сигнала

фиксировали на наружной поверхности симметричных височных областей головы, расположенных на 1 см латеральнее волосяного покрова. Кратковременное гипоксическое воздействие осуществляли по методике проведения гипоксического теста на установке *ReOxy Cardio* (*S.A. Aimediq*, Люксембург) со встроенным пульсоксиметрическим датчиком (*Masimo Rad*-5, США). На лице обследуемого фиксировали плотно прилегающую ротоносовую маску, палец помещали в пульсоксиметрический датчик и предлагали спокойно дышать через маску в течение до 10 мин. Тест производили в покое, в положении сидя, на протяжении всего теста мониторировали величину насыщения артериальной крови кислородом ($SpO_2$, %) и частоту сердечных сокращений (ЧСС, уд./мин), при этом автоматически фиксировались индивидуальные значения минимального уровня $SpO_2$ и максимальной ЧСС. Концентрация кислорода во вдыхаемом воздухе составляла 11%. Во время гипоксического теста проводили измерение времени снижения $SpO_2$ с исходного уровня (96–99%) до 80% (время десатурации, в секундах). Критериями прекращения "гипоксической фазы" теста служили снижение значения $SpO_2$ до 80%, либо повышение ЧСС до 120 уд./мин, либо истечение 10 мин дыхания гипоксической газовой смесью. Отсчет времени производился встроенным в прибор электронным секундомером автоматически. Кроме того, с помощью прибора "*DIGITAL BLOOD PRESSURE MONITIR*" *UA*-777 *A&D Company Limited* (Япония) измеряли показатели системной гемодинамики (систолическое и диастолическое артериальное давление (АД) и ЧСС).

Записи ЛДФ-сигнала проведены с частотой 20 Гц в течение 3 мин с интервалом отсчетов 0.05 с в исходном состоянии (до тестирования на гипоксию) и сразу после гипоксического воздействия. Математическая обработка результатов измерений включала в себя оценку статистических характеристик показателей МЦР и корреляционный анализ взаимосвязей между изменениями всех показателей. Степень сопряженности между признаками оценивали по величине коэффициента корреляции ($r$). Принимали, что при $|r| < 0.3$ степень связи практически отсутствует; при $0.3 < |r| < 0.6$ – умеренная степень связи, при $0.6 < |r| < 1$ – сильная степень связи.

Расчеты всех показателей МЦР и их изменений проводили в условных (перфузионных) единицах с использованием стандартных статистических методов, входящих в пакеты прикладных программ *STATISTICA* и *Excel for Windows*, *v.* 6.0.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Результаты исследований показали, что у всех испытуемых гипоксические воздействия вызывали изменения показателей МЦР как правой, так и левой стороны наблюдения, но направленность этих изменений носила индивидуальный характер и различалась у испытуемых мужского и женского пола. На рис. 1 показаны примеры различных реакций на гипоксию у испытуемых мужского (рис. 1, *А*) и женского (рис. 1, *Б*) пола. Так, у испытуемого мужского пола в ответ на гипоксическое воздействие амплитуда флуктуаций микрокровотока левого микроциркуляторного русла повышается, а правого – снижается, в то время как у испытуемой женского пола – противоположная картина: амплитуда флуктуаций микрокровотока левого микроциркуляторного русла снижается, а правого – повышается. Дальнейший анализ был направлен на оценку распределения испытуемых мужского и женского пола по индивидуальным типам реакций на гипоксию: 1 – {ΔПМлев > 0, ΔПМпр > 0}; 2 – {ΔПМлев > 0, ΔПМпр < 0}; 3 –{ΔПМлев < 0, ΔПМпр < 0}; 4 – {ΔПМлев < 0, ΔПМпр > 0}. Результаты анализа показаны на рис. 2, из которого можно видеть значительные различия в распределении испытуемых мужского и женского пола по типам реакций. Если у испытуемых женского пола преобладали реакции 4-го типа {ΔПМлев < 0, ΔПМпр > 0} (60% реакций), то у испытуемых мужского пола преобладали реакции 1-го типа {ΔПМлев > 0, ΔПМпр >} (50% реакций). Если у испытуемых женского пола вообще отсутствовал 2-й тип реакций {ΔПМлев > 0, ΔПМпр < 0}, то у испытуемых мужского пола этот тип реакций был довольно распространенным (30%). В то же время, если у испытуемых мужского пола отсутствовал 4-й тип реакций {ΔПМлев < 0, ΔПМпр > 0}, то у испытуемых женского пола этот тип реакций был самым распространенным (60%). Таким образом, результаты исследований выявили лево-правостороннюю асимметрию и различия распределений испытуемых мужского и женского пола по индивидуальным типам реакций на гипоксические воздействия: у 80% мужчин гипоксия приводила к увеличению перфузии слева; у 20% – к уменьшению. У женщин наблюдалась обратная картина: у 10% перфузия слева увеличивалась, а у 90% – уменьшалась.

Результаты исследований также показали, что традиционный статистический анализ, основанный на усреднении по всем испытуемым, является малоинформативным методом, не позволяющим выявить индивидуальные особенности реакций на гипоксические воздействия каждого из испытуемых. Так, для испытуемых мужского пола средние исходные значения перфузии были ПМлев(исх) = 9.44 ± 0.54 пф. ед., ПМпр(исх) =

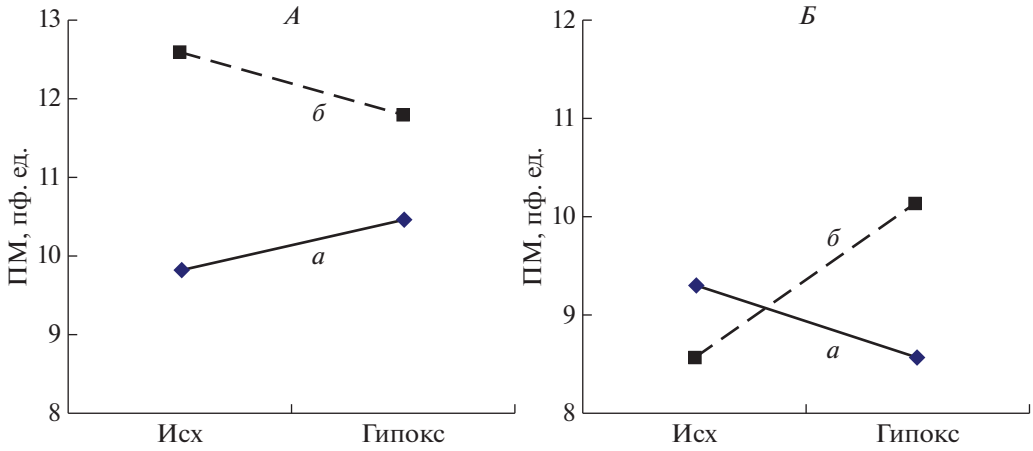


**Рис. 1.** Различные реакции на гипоксию у испытуемых мужского (*А*) и женского (*Б*) пола.
*а* – ПМлев, *б* – ПМпр.

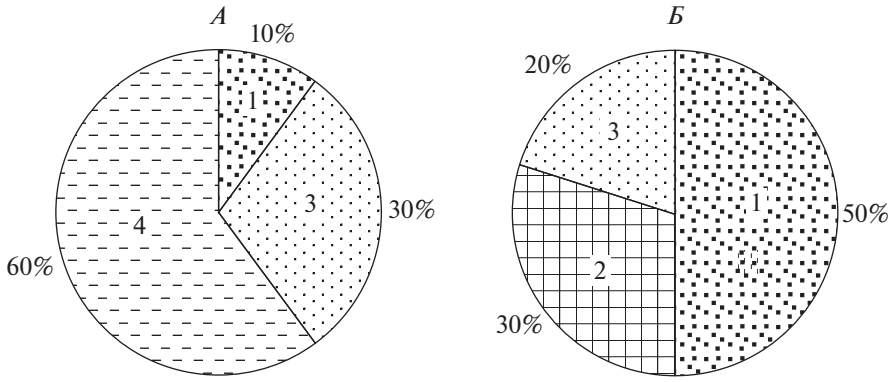


**Рис. 2.** Распределение испытуемых женского (*А*) и мужского (*Б*) пола по типам реакций на гипоксические воздействия.
1 – {ΔПМлев > 0, ΔПМпр > 0}; 2 – {ΔПМлев > 0, ΔПМпр < 0}; 3 – {ΔПМлев < 0, ΔПМпр < 0}; 4 – {ΔПМлев < 0, ΔПМпр > 0}.

= 9.91 ± 0.75, а после гипоксии ПМлев(гип) = = 10.55 ± 0.60, ПМпр(гип) = 10.67 ± 0.69. Достоверных различий между исходными средними значениями перфузии слева и справа, а также между их значениями после воздействия гипоксии, не выявлено. Аналогичная картина была и для испытуемых женского пола: средние исходные значения перфузии были ПМлев(исх) = 10.31 ± ± 0.73 пф. ед., ПМпр(исх) = 9.80 ± 0.75 пф. ед., а после гипоксии ПМлев(гип) = 9.07 ± 0.65, ПМпр(гип) = 10.31 ± 0.76, достоверных различий не выявлено. Также как не выявлено и достоверно значимых различий между средними значениями перфузии мужчин и женщин до и после воздействия гипоксии, что также подтверждает более низкую информативность традиционного статистического анализа по сравнению с анализом функций распределения испытуемых по типам реакций на гипоксию и методом геометрического зонирования.

Следующим этапом исследований явился корреляционный анализ взаимосвязей между изменениями показателей МЦР левой и правой сторон измерения. Результаты анализа для испытуемых мужского пола (табл. 1) показали, что изменения перфузии, вызванные гипоксией, зависят от исходных величин перфузии не только одноименной, но и противоположной стороны наблюдения.

Из табл. 1 можно видеть, что изменения перфузии слева (ΔПМлев) взаимосвязаны как с ПМлев ($r = -0.44$), так и с ПМпр ($r = -0.36$), Аналогично, изменения перфузии справа (ΔПМпр) взаимосвязаны как с ПМпр ($r = -0.73$), так и с ПМлев ($r = -0.68$). Из табл. 1 можно также видеть, что у испытуемых мужского пола сильная положительная корреляционная взаимосвязь между ΔПМлев и ЧСС ($r = 0.73$), в то время как значимых корреляционных взаимосвязей между изменениями перфузии и исходными значения-

**Таблица 1.** Числовые значения коэффициентов корреляции между изменениями перфузии ΔПМлев (пф. ед.), ΔПМпр (пф. ед.), а также гемодинамическими показателями (АД, мм рт. ст. и ЧСС, уд./мин) у испытуемых мужского пола в ответ на гипоксические воздействия

| Корреляции | | Сторона измерения | Левая | | Правая | | Гемодинамика | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | условия | исход | измен | исход | измен | исход | измен | исход | измен |
| сторона измерения | условия | параметры | ПМлев | ΔПМлев | ПМпр | ΔПМпр | АДн | ΔАДн | ЧСС | ΔЧСС |
| Левая | Исход | ПМлев | 1 | –0.44* | 0.91** | –0.68** | –0.19 | –0.39* | –0.42* | 0.05 |
| | Измен | ΔПМлев | –0.44* | 1 | –0.36* | 0.71** | –0.07 | 0.52* | 0.73** | 0.16 |
| Правая | Исход | ПМпр | 0.91** | –0.36* | 1 | –0.73** | –0.07 | –0.55* | –0.31* | –0.06 |
| | Измен | ΔПМпр | –0.68** | 0.71** | –0.73** | 1 | 0.04 | 0.45* | 0.47* | 0.3 |
| Гемодинамика | Исход | АДн | –0.19 | –0.07 | –0.07 | 0.04 | 1 | 0.69** | –0.25 | –0.43* |
| | Измен | ΔАДн | –0.39* | 0.52* | –0.55* | 0.45* | 0.69** | 1 | 0.48* | 0.23 |
| | Исход | ЧСС | –0.42* | 0.73** | –0.31* | 0.47* | –0.25 | 0.48* | 1 | –0.17 |
| | Измен | ΔЧСС | 0.05 | 0.16 | –0.06 | 0.3 | –0.43* | 0.23 | –0.17 | 1 |

*Примечание:* * – $0.3 < |r| < 0.6$, ** – $0.6 < |r| < 1$.

**Таблица 2.** Числовые значения коэффициентов корреляции между изменениями перфузии ΔПМлев (пф. ед.), ΔПМпр (пф. ед.), а также гемодинамическими показателями (АД, мм рт. ст. и ЧСС, уд./мин) у испытуемых женского пола в ответ на гипоксические воздействия

| Корреляции | | Сторона измерения | Левая сторона | | Правая сторона | | Гемодинамика | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | | условия | исход | измен | исход | измен | исход | измен | исход | измен |
| сторона измерения | условия | параметры | ПМлев | ΔПМлев | ПМпр | ΔПМпр | АДн | ΔАДн | ЧСС | ΔЧСС |
| Левая | Исход | ПМлев | 1 | –0.49* | 0.45* | –0.02 | 0.32* | –0.04 | 0.47* | –0.54* |
| | Измен | ΔПМлев | –0.49* | 1 | –0.70** | 0.51* | 0.09 | –0.26 | 0.14 | 0.25 |
| Правая | Исход | ПМпр | 0.45* | –0.70** | 1 | –0.75** | 0.50* | –0.47* | –0.05 | –0.18 |
| | Измен | ΔПМпр | –0.32* | 0.51* | –0.75** | 1 | –0.12 | 0.16 | 0.09 | 0.20 |
| Гемодинамика | Исход | АДн | 0.32* | 0.09 | 0.50* | –0.12 | 1 | –0.77** | 0.18 | 0.08 |
| | Измен | ΔАДн | –0.04 | 0.08 | –0.47* | 0.16 | –0.77** | 1 | 0.12 | –0.48* |
| | Исход | ЧСС | 0.47* | 0.14 | –0.05 | 0.09 | 0.18 | 0.12 | 1 | –0.68** |
| | Измен | ΔЧСС | –0.54* | 0.25 | –0.18 | 0.20 | 0.08 | –0.48* | –0.68** | 1 |

*Примечание:* * – $0.3 < |r| < 0.6$, ** – $0.6 < |r| < 1$.

ми АД не обнаружено. В табл. 2 представлены результаты корреляционного анализа взаимосвязей между изменениями показателей МЦР у испытуемых женского пола. Из табл. 2 можно видеть, что, как у мужчин, так и у женщин, изменения перфузии зависят от исходных величин перфузии как одноименной, так и противоположной стороны наблюдения: ΔПМлев имеет корреляционные связи как с ПМлев ($r = –0.49$), так и с ПМпр ($r = –0.70$), а ΔПМпр – корреляционные связи как с ПМпр ($r = –0.75$), так и с ПМлев ($r = –0.32$). Из табл. 2 можно также видеть, что у испытуемых женского пола, в отличие от испытуемых мужского пола, значимых корреляционных взаимосвязей между изменениями ΔПМлев и ЧСС не выявлено.

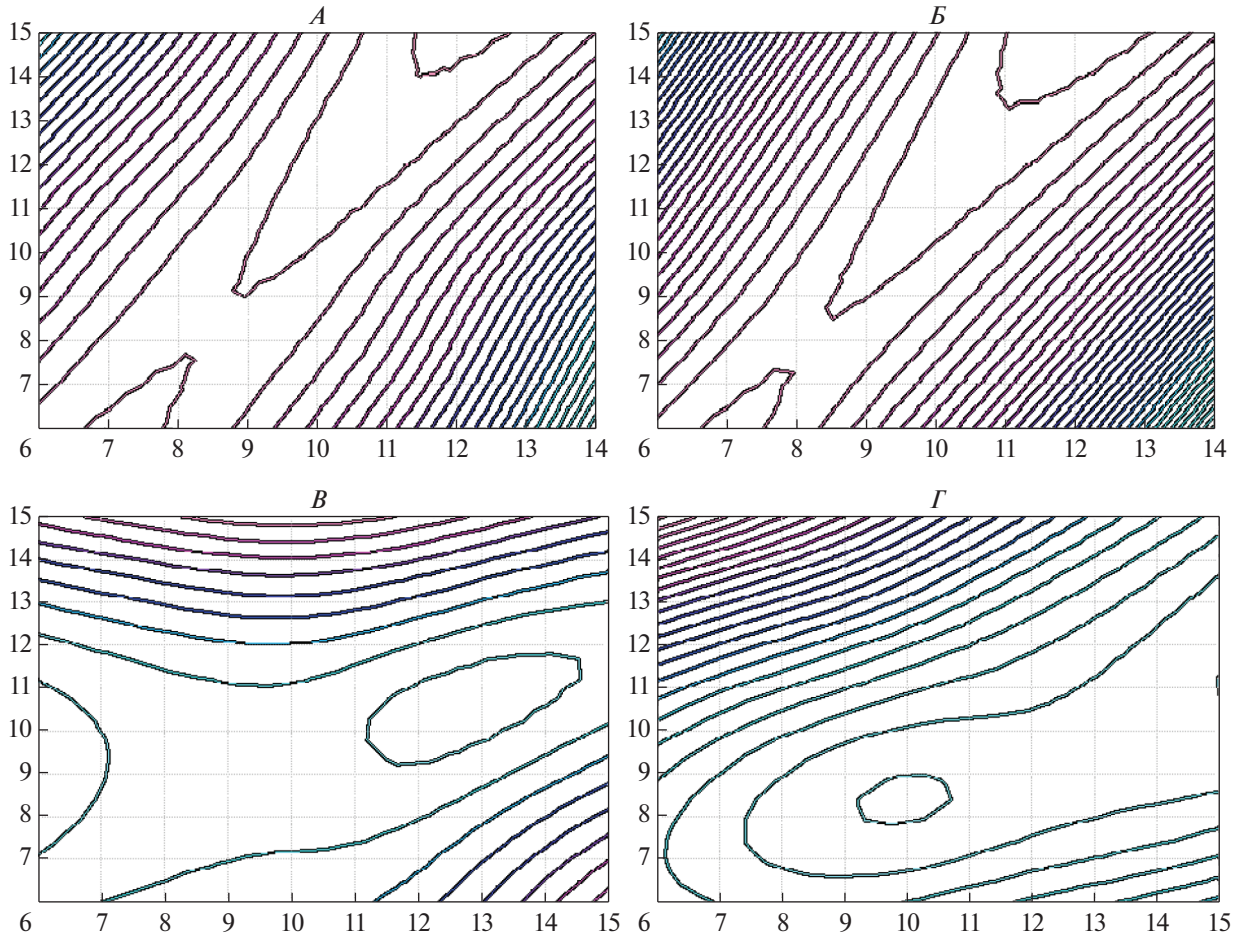


**Рис. 3.** Геометрические контуры эквиуровневых сечений поверхностей ΔПМлев = F1(ПМлев, ПМпр) (*А*) и ΔПМпр = = F2(ПМлев, ПМпр) (*Б*) у испытуемых мужского пола.
*В*, *Г* – аналогичные контуры у испытуемых женского пола. Оси абсцисс – ПМлев, пф. ед.; оси ординат – ПМпр, пф. ед.

Ранее нами было отмечено, что гипоксия вызывает изменения показателей МЦР как справа, так и слева, причем эти изменения отличаются большой индивидуальностью у разных испытуемых. Результаты корреляционного анализа позволяют объяснить причину большой индивидуальности этих реакций. Причина заключается в том, что у разных испытуемых различные исходные значения показателей МЦР, а реакция на гипоксию зависит от исходных значений этих показателей, т.е.

$$\Delta\text{ПМлев} = \text{F1}(\text{ПМлев}, \text{ПМпр}), \quad (1)$$

$$\Delta\text{ПМпр} = \text{F2}(\text{ПМлев}, \text{ПМпр}), \quad (2)$$

где ПМлев и ПМпр – исходные значения показателей МЦР слева и справа соответственно. Реакция на гипоксическую нагрузку того или иного испытуемого определяется геометрическим положением его точки в координатной плоскости {ПМлев, ПМпр}, которое индивидуально для каждого испытуемого. Поэтому у одних испытуемых гипоксические воздействия приводят к повышению перфузии, а у других к снижению. Графически каждое из уравнений (1) и (2) определяет определенную форму поверхности в 3-мерном пространстве, где по осям *X* и *Y* отложены исходные значения ПМлев и ПМпр, а по оси *Z* – их изменения под влиянием гипоксических нагрузок. Геометрические характеристики этих 3*D*-поверхностей можно оценить путем их преобразования в плоские эквиуровневые геометрические контуры в 2-мерном пространстве координат {ПМлев, ПМпр}. Результаты такого преобразования показаны на рис. 3, из которого можно видеть значительные различия геометрических форм контуров для испытуемых мужского (рис. 3, *А*–*Б*) и женского (рис. 3, *В*–*Г*) пола. В первом случае контуры более узкие и острые, направленные вдоль биссектрисы координатного угла *XOY*, а во втором случае контуры имеют более округлые и пологие формы. Половые различия геометрических форм

эквиуровневых контуров определяют различия распределений по типам реакций на гипоксию у испытуемых мужского и женского пола.

## ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Поскольку функционирование системы МЦР направлено на обеспечение метаболических потребностей снабжаемых органов, а их анатомические и физиологические характеристики у мужчин и женщин различны, то очевидно, что как характеристики системы МЦР различных органов, так и их реакции на внешние возмущающие воздействия у мужчин и женщин должны различаться. В данной работе мы показали половые различия в ответе на гипоксические воздействия показателей МЦР височных областей головы. В литературе имеются данные о наличии функциональной асимметрии МЦР лицевой области, при этом авторы показали более выраженные сердечный, дыхательный, миогенный, вегетативный и эндотелиальный компоненты регуляции справа [12]. Особенности гендерных различий метаболических реакций МЦР на внешние возмущающие воздействия, включая и гипоксические, обнаружены многими исследователями [13–18]. Предполагают, что гендерные различия могут быть связаны с различной проницаемостью капилляров [15]. У лиц женского пола отмечались более выраженное потребление кислорода, повышенная растяжимость и сниженная сопротивляемость легких [17]. Показано также, что метаболические изменения в ответ на кратковременную гипоксию более выражены у лиц мужского пола [18]. Полученные нами данные впервые показали наличие гендерных различий реакций на гипоксию не только метаболических параметров, но и характеристик лево-правостороннего баланса МЦР. Показано, что именно перераспределение баланса между регуляторными влияниями различных компонент сосудистого тонуса симметричных височных областей головы играет определяющую роль в поддержании устойчивого функционирования системы МЦР. Но известно [8–11], что мужской мозг отличается от женского мозга как по анатомическим и структурно-функциональным характеристикам, так и по характеристикам межполушарной асимметрии. Поэтому обнаруженные нами половые различия реакций МЦР височных областей головы на гипоксические воздействия являются дополнительным подтверждением различной структурно-функциональной организации мужского и женского мозга, приводящей к различной устойчивости мужского и женского организма к внешним возмущающим воздействиям. Результаты исследования могут быть использованы в медицинской практике для разработки методов персонализированных оценок нарушений системы МЦР и дифференцированных подходов к прогнозированию и лечению мужчин и женщин с заболеваниями сердца и сосудов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведенных исследований выявили половые различия реакций показателей МЦР височных областей головы на гипоксические воздействия. Направленность реакции на гипоксию левого микроциркуляторного русла была противоположной у испытуемых разного пола: у 80% испытуемых мужского пола гипоксические воздействия приводили к увеличению показателей перфузии слева; у 20% – к уменьшению. У испытуемых женского пола была противоположная картина: у 90% испытуемых женского пола гипоксические воздействия приводили к уменьшению показателей перфузии слева; у 10% – к увеличению. Реакция на гипоксию правого русла у испытуемых разного пола была одинаковой: у 50% испытуемых ПМпр возрастала и у 50% – уменьшалась. Кроме того, у испытуемых мужского пола выявлена корреляционная взаимосвязь между изменениями перфузии слева и ЧСС, в то время как у испытуемых женского пола аналогичных корреляционных взаимосвязей нет. Физиологические механизмы, лежащие в основе роли лево-правосторонней асимметрии в регуляции показателей микрогемодинамики мужского и женского мозга, требуют дальнейшего изучения.

***Этические нормы.*** Все исследования проведены в соответствии с принципами биомедицинской этики, сформулированными в Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующих обновлениях, и одобрены локальным биоэтическим комитетом Научно-исследовательского института нормальной физиологии им. П.К. Анохина (Москва).

***Информированное согласие.*** Каждый участник исследования представил добровольное письменное информированное согласие, подписанное им после разъяснения ему потенциальных рисков и преимуществ, а также характера предстоящего исследования.

***Финансирование работы.*** Работа выполнена за счет средств Федерального бюджета РФ в рамках выполнения Государственных заданий ФГБНУ НИИНФ им. П.К. Анохина и Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет, Москва).

***Конфликт интересов.*** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных интересов, связанных с публикацией данной статьи.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ


1. *Глазачев О.С., Дудник Е.Н.* Особенности реактивности сосудов микроциркуляторного русла практически здоровых людей при моделировании острой умеренной гипоксии и гипероксии // Физиология человека. 2013. Т. 39. № 4. С. 74.
*Glazachev O.S., Dudnik E.N.* Microcirculatory reactivity features in apparently heathy individuals during acute moderate hypoxia and hyperoxia modeling // Human Physiology. 2013. V. 39. № 4. P. 400.
2. *Бобылева О.В., Глазачев О.С.* Особенности микроциркуляции у практически здоровых людей при острой гипоксии и в курсе интервальной гипоксической тренировки // Физиология человека. 2008. Т. 34. № 6. С. 92.
*Bobyleva O.V., Glazachev O.S.* Microcirculation characteristics in apparently healthy subjects during acute hypoxia and intermittent hypoxic training // Human Physiology. 2008. V. 34. № 6. P. 735.
3. *Кривощеков С.Г., Балиоз Н.В., Некипелова Н.В., Капилевич Л.В.* Гендерные и индивидуально-типологические особенности реагирования на острое гипоксическое воздействие // Физиология человека. 2014. Т. 40. № 6. С. 34.
*Krivoshekov S.G., Balioz N.V., Nekipelova N.V., Kapilevich L.V.* Age, gender, and individually-typological features of reaction to sharp hypoxic influence // Human Physiology. 2014. V. 40. № 6. P. 613.
4. *Михайличенко Л.А.* Показатели микроциркуляции парных органов и тканей экспериментальных животных в норме // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2007. Т. 6. № 1. С. 164.
5. *Михайличенко Л.А.* Эндотелиальный компонент в механизмах регуляции тонуса сосудов парных образований по данным лазерной допплеровской флоуметрии // Регионарное кровообращение и микроциркуляция. 2008. Т. 28. № 4. С. 71.
6. *Мезенцева Л.В., Перцов С.С.* Синхронные изменения показателей микроциркуляции верхних конечностей при асимметричных физически нагрузках на них // Физиология человека. 2020. Т. 46. № 6. С. 101.
*Mezentseva L.V., Pertsov S.S.* Synchronous changes in microcirculation parameters of the upper limbs in asymmetric physical loads // Human Physiology. 2020. V. 46. № 6. P. 671.
7. *Мезенцева Л.В., Дудник Е.Н., Никенина Е.В. и др.* Анализ изменений показателей микроциркуляции симметричных областей головы человека в условиях гипоксических воздействий // Бюллетень экспериментальной биологии и медицины. 2021. Т. 171. № 6. С. 671.
8. *Амунц В.В., Антюхов А.Д., Боголепова И.Н., Свешников А.В.* Сравнительные данные нейронов двух ядер таламуса у мужчин и женщин // Асимметрия. 2012. Т. 6. № 1. С. 17.
9. *Ingalhalikar M., Smith A., Parker D. et al.* Sex differences in the structural connectome of the human brain // Proc. Natl. Acad. Sci. U.S.A. 2014. V. 111. № 2. P. 823.
10. *Reber J., Tranel D.* Sex differences in the functional lateralization of emotion and decision making in the human brain // J. Neurosci. Res. 2017. V. 95. № 1–2. P. 270.
11. *Pallayova M., Brandeburova A., Tokarova D.* Update on Sexual Dimorphism in Brain Structure-Function Interrelationships: A Literature Review // Appl. Psychophysiol. Biofeedback. 2019. V. 44. № 4. P. 271.
12. *Benedicic M., Bernjak A., Stefanovska A., Bosnjak R.* Continuous wavelet transform of laser-Doppler signals from facial microcirculation reveals vasomotion asymmetry // Microvasc. Res. 2007. V. 74. № 1. P. 45.
13. *Huxley V.H., Kemp S.S.* Sex-Specific Characteristics of the Microcirculation // Adv. Exp. Med. Biol. 2018. V. 1065. P. 307.
14. *Kobayashi T., Shiba T., Kinoshita A. et al.* The influences of gender and aging on optic nerve head microcirculation in healthy adults // Sci. Rep. 2019. V. 30. № 9(1). P. 15636.
15. *Panazzolo D.G., Silva L.H., Cyrino F.Z. et al.* Gender differences in microcirculation: observation using the hamster cheek pouch // Clinics (Sao Paulo). 2013. V. 68. № 12. P. 1537.
16. *Gonzales R.J., Bryant J.M., Naik J.S. et al.* Gender differences in mesenteric vasoconstrictor reactivity following chronic hypoxia // Microcirculation. 2008. V. 15. № 6. P. 473.
17. *Mortola J.P., Saiki C.* Ventilatory response to hypoxia in rats: gender differences // Respir. Physiol. 1996. V. 106. № 1. P. 21.
18. *Marcouiller F., Jochmans-Lemoine A., Ganouna-Cohen G. et al.* Metabolic responses to intermittent hypoxia are regulated by sex and estradiol in mice // Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab. 2021. V. 320. № 2. P. 316.


# Comparative Analysis of Microcirculatory Reactions to Hypoxic Effects in Male and Female Subjects


**L. V. Mezentseva[a, *], E. N. Dudnik[b], E. V. Nikenina[a, b]**

[a]*Anokhin Research Institute of Normal Physiology, Moscow, Russia*

[b]*Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia*

**E-mail: l.v.mezentseva@mail.ru*



In this study, we conducted a comparative analysis of the responses to hypoxia of microcirculation (MCR) parameters of the temporal areas of the head in male and female subjects. The study was conducted in 20 healthy volunteers aged 18–19 years (10 male and 10 female). The state of short-term hypoxia was induced using a normobaric device ReOxy Cardio (S.A. Aimediq, Luxembourg). Synchronous measurements of

MCR parameters of symmetrical temporal regions of the head at the basal state and immediately after short-term hypoxic exposure were carried out by the laser Doppler flowmetry method . Statistical characteristics of perfusion of both sides of the measurement and correlation characteristics of the relationships between changes in the MCR parameters of the symmetric sides of the observation were evaluated. The results show sex differences in reactions to hypoxic effects. In 80% of men, hypoxia led to an increase in left perfusion; in 20% – to a decrease. In women, the opposite pattern was observed: in 10%, perfusion on the left increased, and in 90% – decreased. The results of the research revealed the features of left-right asymmetry in the regulation of MCR parameters of the temporal regions of the head of the male and female. The physiological mechanisms underlying the differences in the regulation of MCR parameters of the symmetrical regions of the male and female brain require further study.

*Keywords:* hypoxia, microcirculation, asymmetry, sexual dimorphism.