УДК 612.014.423 DOI: 10.5281/zenodo.20799768 EDN: EXAIOY

РЕЗУЛЬТАТЫ ОЦЕНКИ СТАНДАРТНЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СПЕКТРОСКОПИИ БЛИЖНЕГО ИНФРАКРАСНОГО ДИАПАЗОНА У ЛИЦ С РАЗЛИЧНЫМ УРОВНЕМ ОБЩЕЙ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОЙ РЕАКТИВНОСТИ ОРГАНИЗМА (ПОИСКОВОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

© 2026. ***И. В. Улесикова, Н. А. Щукина, В. В. Воронов, С. С. Гринчук, А. Б. Мулик***

В статье рассматривается возможность использования функциональной ближней инфракрасной спектроскопии (fNIRS) как неинвазивной экспрессной методики мониторинга уровня оксигенации тканей коры головного мозга для нейровизуализации в режиме реального времени. Методику применяли для оценки корреляций стандартных показателей fNIRS с индивидуальным уровнем общей неспецифической реактивности организма. В работе приняли участие 37 клинически здоровых мужчин 21–27 лет, подписавших добровольное согласие на проведение исследовательских работ. Каждый обследуемый с 09:00 до 13:00 проходил оценку оксигенации коры головного мозга с помощью fNIRS и оценку порога болевой чувствительности (ПБЧ). Статистический анализ данных осуществляли с применением ранговой корреляции ρ-Спирмена. Было установлено, что содержание кислорода в кровеносных сосудах головного мозга коррелирует с выраженностью индивидуальной чувствительности и реактивностью организма. Выявлены взаимосвязи между ПБЧ и фоновым уровнем оксигенации коры мозга в третьем, четвертом, шестом, восьмом каналах у добровольцев, обладающих высоким уровнем общей неспецифической реактивностью организма (УОНРО). У добровольцев со средними значениями ПБЧ выявлены связи между ПБЧ и фоновым уровнем оксигенации коры в первом канале, в третьем, в четвертом канале. У них же имела место перестройка взаимосвязей между уровнями оксигенации обследуемых областей коры головного мозга по сравнению со среднестатистическим вариантом. Полученные результаты могут свидетельствовать о индивидуальной, генетически детерминированной картине функционирования головного мозга, способствующей поддержанию гомеостаза. Результаты проведенного исследования свидетельствуют об актуальности и целесообразности дальнейшего изучения взаимосвязей fNIRS и порога болевой чувствительности.

Ключевые слова: порог болевой чувствительности, уровень общей неспецифической реактивности организма, функциональная ближняя инфракрасная спектроскопия

Введение. Функциональная спектроскопия в ближнем инфракрасном диапазоне (fNIRS) – неинвазивный метод оценки уровня оксигенации тканей коры головного мозга. Принцип работы прибора, основан на измерении уровня оксигенации крови сосудов головного мозга (до 3 см). Чем выше активность того или иного участка коры, тем больше кислорода доставляется к нему, чтобы обеспечить его потребности. С помощью церебральной fNIRS можно оценить, какие участки мозга активнее других в данный момент времени. Оптоды размещаются по международной системе 10-20 в лобных, теменных, височных и затылочных регионах в правом и левом полушарии. Поскольку гемоглобин является хорошим абсорбентом света в диапазоне волн от 650 до 1000 нм, инфракрасный свет может проникать в кожу головы, кости черепа, верхние слои коры головного мозга и в отраженном виде принимается детектором, характеризуя концентрацию трех показателей: оксигенированного гемоглобина (HbO), дезоксигенированного гемоглобина (HbR) и общего гемоглобина (Hbt) мозговых капилляров [1]. В настоящее время данная методика в основном применяется в научных исследованиях для оценки изменений в функциональном состоянии организма человека при воздействии факторов среды обитания, тяжести физической и умственной работы [2]. В клинической практике может использоваться для оценки эффективности лечебных, реабилитационных мероприятий (инсульты, контузии, посттравматический

стресс) [3; 4]. Преимущества прибора по сравнению с другими методиками нейровизуализации следующие: безопасность – fNIRS не использует никакого вредного излучения, метод можно использовать у детей; малоинвазивная методика – для fNIRS не требуется дополнительного контрастного вещества, как для фМРТ; функциональный метод визуализации – контраст изображения достигается благодаря функционированию ткани; доступность – fNIRS относительно недорогая и простая в обращении технология (в сравнении с функциональной магнитно-резонансной томографией (фМРТ); временное разрешение у fNIRS выше, чем у фМРТ; пространственное разрешение у fNIRS выше, чем у ЭЭГ.

При проведении исследований медико-биологического профиля предпринимаются попытки учитывать индивидуальные особенности функционирования организма. Сила ответной реакции при экзогенном воздействии всегда строго специфична и генетически детерминирована. При использовании современных методик нейровизуализации функционирования коры головного мозга требуется сравнительная оценка показателей оксигенации в группах индивидов с различным уровнем общей неспецифической реактивности организма, являющегося показателем индивидуальной реактивности человека. Установлено, что порог боли отражает общую неспецифическую чувствительность организма и является показателем индивидуальной реактивности [5–7]. Уровень общей неспецифической реактивности организма как интегративный критерий, количественно и качественно отражающий индивидуальную организацию гомеостаза организма, оценивается с помощью порога болевой чувствительности (ПБЧ) [8]. Поскольку ПБЧ является генетически детерминированным, то предположительно и специфические особенности функционирования организма должны быть отражены в специфике оксигенации коры головного мозга.

Уровень оксигенации коры количественно и качественно можно оценить с помощью функциональной ближней инфракрасной спектроскопии (functional Near-Infrared Spectroscopy, fNIRS), являющейся неинвазивной, простой в использовании методикой нейровизуализации уровня оксигенации кортикальных отделов мозга, позволяющей изучать нормальное функционирование и нарастающие патологические изменения в условиях реальной жизнедеятельности.

В последние годы резко возросло количество исследований в области нейровизуализации параллельно с ростом доступности систем fNIRS. В связи с этим появляются многочисленные попытки соотнесения результатов fNIRS, полученных в результате исследований различных авторов и на различных приборах.

Однако, при проведении исследований и последующем нормировании показателей fNIRS необходимо учитывать индивидуальный функциональный статус обследуемых добровольцев. Наиболее актуальным является изучение выраженности стандартных показателей fNIRS в зависимости от уровня общей неспецифической реактивности организма, измеряемой с помощью порога болевой чувствительности.

Цель. Охарактеризовать проявление стандартных показателей fNIRS у индивидов с различным уровнем общей неспецифической реактивности организма.

Материалы и методы. Было проведено обследование 37 добровольцев мужского пола от 21 до 27 лет, в одно и то же время с 09:00 до 13:00, предварительно подписавших письменное информированное согласие на проведение исследования. По порогу болевой чувствительности (ПБЧ) с помощью прибора алгезиметр (Ugo Basile, Италия) обследуемых разделили на три группы меньше 10 с, лица с порогом болевой чувствительности от 10 с до 31 с и третья группа, лица с порогом чувствительности от 32 с и выше, одновременно оценивая уровень оксигенации коры головного мозга в

зависимости от индивидуального генетически детерминированного статуса организма человека, используя функциональную ближнюю инфракрасную спектроскопию (fNIRS). В приборе алгезиметр источник излучения создавал концентрированный световой луч, направленный на середину тыльной поверхности дистальной фаланги среднего пальца. Палец располагался на рабочей площадке, закрывая фотоэлементы. При этом один фотоэлемент включал вспомогательную лампу, обозначающую границу рабочего луча, что позволяло тщательно зафиксировать палец в нужном положении на площадке. Основная лампа включалась в ручном режиме. Второй фотоэлемент отключал рабочий луч после отстранения пальца и фиксировал время выдержки в секундах, принимаемое за ПБЧ. Определение ПБЧ производилось в состоянии покоя, при полном соматическом и психологическом равновесии обследуемого.

Гемодинамическую реакцию коры головного мозга оценивали в фоновом режиме с помощью прибора функциональной спектроскопии ближнего инфракрасного диапазона Cortivision Poton Cap C20 (Cortivision, Польша). Прибор сертифицирован и соответствует требованиям технического регламента Евразийского экономического союза (ЕАЭС N RU Д-PL.PA03.B.20841/21 от 03.12.2021, срок действия – до 02.12.2026). Спектроскоп Cortivision Poton Cap C20 укомплектован 20 оптодами (10 источников и 10 детекторов) с частотой дискретизации 7,8125 Гц. Оптоды неинвазивно фиксировались на голове обследуемого путём размещения в гнезда эластичной шапочки «Easycap». При этом 8 пар оптодов размещались по международной системе 10-20 в лобных, теменных, височных и затылочных областях в правом и левом полушарии. Используемые детекторы и излучатели, образуют каналы инфракрасного света двух длин волн – 760 нм и 850 нм. Свет в инфракрасном диапазоне, излучаемый источником, частично рассеивался, отражался и поглощался. В результате суммарно оценили концентрацию оксигенированного (HbO) и восстановленного гемоглобина (HbR), определяя гемодинамическую реакцию коры с помощью модифицированного закона Бера – Ламберта. Было определено, что чем интенсивнее излучаемый свет и чем больше расстояние между фотоисточником и фотодетектором, тем больше глубина проникновения в ткань. Прямое измерение гемодинамической реакции коры головного мозга позволило оценить уровень оксигенации обследуемых областей мозга в режиме реального времени. Методика fNIRS обладает высокой устойчивостью к артефактам движения и изучает естественное функциональное состояние обследуемых добровольцев, с учетом их индивидуального уровня реактивности организма, не ограничивая их в свободном передвижении. Статистический анализ данных проводили с использованием ранговой корреляции ρ-Спирмена. В исследовании был принят уровень значимости $\alpha = 0{,}05$. Расчеты выполнены в программном пакете SPSS для двустороннего критерия с опцией «метить значимые корреляции» (корреляционные матрицы содержат метки «*» и «**»). Схема расположения оптодов в эластичной шапочке fNIRS (источников и детекторов инфракрасного света) и соотношение датчика отведениям ЭЭГ отражена в таблице 1.

Результаты и их обсуждение. В ходе проведенного экспериментального исследования изучались взаимосвязи между показателями оксигемоглобина/ дезоксигемоглобина и уровнем общей неспецифической реактивности организма у добровольцев. Эта возможность обеспечивалась различиями в порогах болевой чувствительности у обследуемых. Учитывая малый объем выборки тестирование взаимосвязей осуществляли с помощью непараметрической корреляции ρ-Спирмена (безотносительно к закону распределения данных).

Таблица 1

Схема отведения оптодов fNIRS

Номер канала	Тип датчика	Соотношение датчика отведениям ЭЭГ	Место съема
1	Источник	F4	Правая лобная кора
	Детектор	F6	
2	Источник	F3	Левая лобная кора
	Детектор	F5	
3	Источник	AF4	Правая лобная кора
	Детектор	AFp2	
4	Источник	AF3	Левая лобная кора
	Детектор	AFp1	
5	Источник	FTT8h	Правая височная кора
	Детектор	T8	
6	Источник	FTT7h	Левая височная кора
	Детектор	T7	
7	Источник	P3	Левая теменная кора
	Детектор	CPP5h	
8	Источник	P4	Правая теменная кора
	Детектор	CPP6h	
9	Источник	O2	Левая затылочная кора
	Детектор	OL2h	
10	Источник	O1	Правая затылочная кора
	Детектор	OL1h	

В таблицах 2–5 выборочно приведены результаты оценивания взаимосвязей между уровнем общей неспецифической реактивности организма и стандартными показателями оксигенации коры головного мозга у обследуемых добровольцев.

Таблица 2

Характеристика взаимосвязей между показателями спектроскопии по выборочным данным в целом (корреляция ρ-Спирмена)

Все	**ПБЧ**	**S1_D1_760**	**S1_D1_850**	**S2_D2_760**	**S2_D2_850**	**S3_D3_760**	**S4_D4_760**	**S6_D6_760**	**S7_D7_760**
S1_D1_760	-0,065								
S1_D1_850	-0,144	,988**							
S2_D2_760	0,144	,773**	,739**						
S4_D4_760	0,026	,633**	,624**	,635**	,594**	,909**			
S7_D7_760	0,133	,561**	,579**	,596**	,582**	,530**	,618**	,586**	
S8_D8_760	0,035	,566**	,580**	,608**	,592**	,567**	,658**	,584**	,936**
S9_D9_760	-0,025	,470**	,484**	,488**	,461**	,407*	,574**	,611**	,758**
S10_D10_850	0,037	,600**	,612**	,591**	,567**	,444**	,563**	,569**	,835**

Примечание: Наличие хотя бы одного знака «*» является признаком статистической значимости коэффициента корреляции на уровне значимости $\alpha = 0,05$.

По полученным результатам в целом (см. табл. 2) можно было бы сделать поспешный вывод об отсутствии эффекта корреляции между уровнем ПБЧ и показателями оксигенации коры головного мозга у среднестатистического обследуемого индивида. Причем значения коэффициентов ρ-Спирмена настолько малы,

что даже при условном наличии их статистической значимости обосновать практическую ценность выявленных связей было бы весьма затруднительно. К тому же уровни оксигенации обследуемых областей коры головного мозга у среднестатистического обследуемого по силе взаимосвязей варьировались в широком диапазоне: от слабо умеренных (ρ=0,3..*) до очень тесных (ρ=0,9..*). Одновременно среди всех экспериментальных каналов особо выделялись 5-ый и 6-ой каналы: они демонстрировали отдельные результаты оксигенации, которые не связанны с прочими каналами.

Таким образом, возникает вопрос о целесообразности изучения проблемы не на среднестатистическом обследуемом индивиде, а на выделении групп лиц с характерно низким, средним и высоким уровнем порога болевой чувствительности. Но для этого необходимо иметь критерий квантования всевозможных значений ПБЧ на отдельные области (участки, кванты) низкого, среднего и высокого уровней. В связи с отсутствием в настоящее время такого критерия, было принято решение выполнить пробную принудительную стратификацию экспериментальной выборки добровольцев на три группы: группа № 1 – лица с ПБЧ меньше 10 с; группа № 2 – лица с ПБЧ от 10 до 31 с; группа № 3 – лица с ПБЧ от 32 с и выше. Результаты пробного исследования приведены в таблицах 3–5 [9–13].

Таблица 3

Характеристика взаимосвязей между показателями спектроскопии по выборочным данным в гр. № 1 (корреляция ρ-Спирмена)

гр. № 1	**ПБЧ**	**S1_D1_760**	**S3_D3_850**	**S7_D7_760**	**S7_D7_850**	**S8_D8_760**	**S8_D8_850**	**S9_D9_760**	**S9_D9_850**
S1_D1_760	,436								
S1_D1_850	,436	1,000**							
S2_D2_760	,636	,893**							
S2_D2_850	,455	,893**							
S3_D3_760	**,837***	,571							
S3_D3_850	**,855***	,464							
S4_D4_760	**,837***	,571	,857*						
S4_D4_850	**,909****	,607	,750						
S5_D5_760	,618	-,179	,214						
S5_D5_850	,400	-,321	,179						
S6_D6_760	**,764***	,214	,536						
S6_D6_850	,236	-,464	,000						
S7_D7_760	,709	,286	,679						
S7_D7_850	,709	,286	,679	1,000**					
S8_D8_760	**,837***	,286	,857*	,893**	,893**				
S8_D8_850	**,837***	,286	,857*	,893**	,893**	1,000**			
S9_D9_760	,709	,321	,571	,964**	,964**	,857*	,857*		
S9_D9_850	,709	,286	,679	1,000**	1,000**	,893**	,893**	,964**	
S10_D10_760	,709	,321	,571	,964**	,964**	,857*	,857*	1,000**	,964**
S10_D10_850	,709	,286	,679	1,000**	1,000**	,893**	,893**	,964**	1,000**

Примечание: Наличие хотя бы одного знака «*» является признаком статистической значимости коэффициента корреляции на уровне значимости α = 0,05.

Предпринятая стратификация экспериментальной выборки добровольцев способствовала выявлению статистически значимых корреляций между отдельными показателями оксигенации коры головного мозга и уровнем общей неспецифической реактивности организма у добровольцев в группах № 1, 2. Это позволяет отследить специфический характер взаимосвязей между уровнями оксигенации обследуемых областей коры человеческого мозга в этих группах (табл. 3–5).

Так, у добровольцев гр. № 1, обладающих низкими значениями порога болевой чувствительности (см. табл. 3) и, следовательно, высоким уровнем общей неспецифической реактивности организма, были выявлены взаимосвязи между порогом болевой чувствительности и фоновым уровнем оксигенации коры головного мозга в третьем (S3_D3_760, ρ=0,837*; S3_D3_850, ρ=0,855*), четвертом (S4_D4_760, ρ=0,837*; S4_D4_850, ρ=0,909*), шестом (S6_D6_760, ρ=0,764*), восьмом каналах (S8_D8_760, ρ=0,837*; S8_D8_850, ρ=0,837*).

Отдельно нужно отметить, что по силе взаимосвязей уровни оксигенации обследуемых областей коры головного мозга у добровольцев гр. №1 принципиально отличались от среднестатистического варианта, представленного в табл. 2. Данный факт требует отдельного анализа и в рамках данной статьи не рассматривался.

Таблица 4

Характеристика взаимосвязей между показателями спектроскопии по выборочным данным в гр. № 2 (корреляция ρ-Спирмена)

гр. № 2	**ПБЧ**	**S1_D1_760**	**S1_D1_850**	**S2_D2_760**	**S3_D3_760**	**S4_D4_760**	**S6_D6_760**	**S6_D6_850**	**S7_D7_760**	**S8_D8_850**
S1_D1_760	**,971****									
S1_D1_850	**,912****	,967**								
S2_D2_760	0,43	0,53	0,62							
S2_D2_850	0,32	0,43	0,53	,950**						
S3_D3_760	**,895****	,817**	,767*	0,18						
S3_D3_850	**,929****	,850**	,783*	0,17	,983**					
S4_D4_760	**,745***	,667*	0,63	0,52	,817**					
S4_D4_850	**,745***	,667*	0,63	0,52	,817**	1,000**				
S5_D5_760	0,21	0,12	0,07	0,03	0,52	,667*				
S5_D5_850	-0,3	-0,4	-0,5	-0,4	0	0,07				
S6_D6_760	0,01	-0,1	-0	0,33	0,08	0,52				
S6_D6_850	-0,1	-0,2	-0,2	0,03	-0,1	0,1	,733*			
S7_D7_760	0,39	0,3	0,37	0,48	0,4	,700*	,867**	0,65		
S7_D7_850	0,35	0,28	0,38	0,5	0,37	0,65	,833**	0,6	,983**	
S8_D8_760	0,41	0,37	0,45	0,52	0,38	0,65	,800**	0,62	,933**	
S8_D8_850	0,33	0,27	0,37	0,48	0,32	0,6	,850**	,667*	,967**	
S9_D9_760	-0,3	-0,4	-0,3	0,32	-0,2	0,28	,917**	,667*	0,65	0,65
S9_D9_850	0,03	-0	0,12	0,45	0,05	0,43	,917**	,667*	,867**	,933**
S10_D10_760	0,18	0,22	0,27	,867**	0	0,5	0,58	0,32	0,6	0,53
S10_D10_850	0,26	0,3	0,37	,900**	0,07	0,53	0,6	0,33	,683*	0,63

Примечание: Наличие хотя бы одного знака «*» является признаком статистической значимости коэффициента корреляции на уровне значимости α = 0,05.

У добровольцев гр. № 2, обладающих средними значениями порога болевой чувствительности (см. табл. 4) и, следовательно, средним уровнем общей неспецифической реактивности организма, выявлены связи между порогом болевой чувствительности и фоновым уровнем оксигенации коры головного мозга в первом канале (S1_D1_760, ρ=0,971*; S1_D1_850, ρ=0,912*), в третьем (S3_D3_760, ρ=0,895*; S3_D3_850, ρ=0,929*) и четвертом канале (S4_D4_760, ρ=0,745*; S4_D4_850, ρ=0,745*).

И у этих добровольцев также имела место перестройка взаимосвязей между уровнями оксигенации обследуемых областей коры головного мозга по сравнению со среднестатистическим вариантом (см. табл. 2 и табл. 4).

Наконец, у лиц с низким уровнем общей неспецифической реактивности организма статистической значимости связей между стандартными показателями оксигенации и порогом болевой чувствительности выявлено не было (см. табл. 5). Тем не менее, картина взаимосвязей между уровнями оксигенации обследуемых областей коры головного мозга и в этом случае обладала системностью и упорядоченностью исследуемых показателей. Стоит отметить ключевой момент – наличие исключительно положительной корреляции между порогом болевой чувствительности и уровнем оксигенации различных участков коры головного мозга у представителей первой и второй группы.

Таблица 5

Характеристика взаимосвязей между показателями спектроскопии по выборочным данным в гр. № 3 (корреляция ρ-Спирмена)

гр. № 3	**ПБЧ**	**S1_D1_760**	**S1_D1_850**	**S2_D2_760**	**S3_D3_760**	**S3_D3_850**	**S4_D4_850**	**S6_D6_760**	**S7_D7_760**
S1_D1_760	0,076								
S1_D1_850	-0,008	,979**							
S2_D2_760	-0,084	,767*	,778*						
S2_D2_850	0,000	,750*	,762*	,983**					
S3_D3_760	0,017	,800**	,828**	,750*					
S3_D3_850	-0,384	,711*	,811**	,736*	,803**				
S4_D4_760	0,202	,833**	,812**	,767*	,933**	,669*			
S4_D4_850	0,118	,850**	,845**	0,65	,733*	0,644			
S5_D5_760	0,084	0,383	0,502	0,317	0,417	0,653	0,383		
S5_D5_850	0,294	0	0,109	0,067	-0,07	0,176	0,017		
S6_D6_760	-0,059	0,167	0,285	-0,03	0,3	0,544	0,367		
S6_D6_850	-0,034	-0,05	0,075	-0,32	0,1	0,326	0,067	,900**	
S7_D7_760	-0,185	,667*	,762*	0,433	0,517	,787*	,750*	,717*	
S7_D7_850	-0,126	,683*	,787*	0,533	0,567	,820**	,767*	,700*	,983**
S8_D8_760	0,000	,689*	,726*	0,395	0,538	0,608	,916**	0,588	,891**
S8_D8_850	-0,134	,733*	,770*	0,417	0,567	,711*	,850**	0,617	,933**
S9_D9_760	-0,169	0,544	0,605	0,109	0,46	0,588	,711*	,745*	,862**
S9_D9_850	-0,127	0,561	0,622	0,159	0,51	0,622	,745*	,770*	,879**
S10_D10_760	-0,197	0,61	0,655	0,153	0,509	0,621	,712*	,695*	,848**
S10_D10_850	-0,218	,683*	,711*	0,25	0,6	,678*	,733*	0,633	,817**

Примечание: Наличие хотя бы одного знака «*» является признаком статистической значимости коэффициента корреляции на уровне значимости ρ = 0,05.

Выводы. В результате проведенного исследования между фоновыми показателями концентрации оксигенированного и восстановленного гемоглобина и порогом болевой чувствительности выявлены взаимосвязи, которые невозможно отнести к случайному совпадению. А именно: содержание кислорода в кровеносных сосудах головного мозга коррелирует с выраженностью индивидуальной чувствительности и реактивностью организма человека.

Отмечено наличие связи между уровнем общей неспецифической реактивности организма и функциональным состоянием головного мозга, в частности, уровнем оксигенации отдельных областей коры.

Можно предположить, что для каждого индивида в зависимости от его индивидуальных генетически детерминированных особенностей проявляется своя, специфическая картина снабжения кислородом коры головного мозга, способствующая поддержанию нормального функционирования. Эти данные необходимо учитывать при выполнении исследований медико-биологического профиля, способствуя повышению надёжности и воспроизводимости результатов исследований, выполняемых с использованием технологии fNIRS. Результаты исследования определяют актуальность и целесообразность дальнейшего изучения особенностей оксигенации коры головного мозга в зависимости от индивидуального функционального статуса организма человека.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. *Работа выполнена в рамках реализации НИР-1 «Детерминанта».*

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ferrari, M, Quaresima, V. A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application // Neuroimage. – 2012. – Vol. 63, № 2. – P. 921-935. – DOI: 10.1016/j.neuroimage.2012.03.049
2. McKendrick, R., Mehta, R., Ayaz, H., Scheldrup, M., Parasuraman R. Prefrontal Hemodynamics of Physical Activity and Environmental Complexity During Cognitive Work // Hum Factors. − 2017. − Vol. 59. – No 1. − P. 147-162. – DOI: 10.1177/0018720816675053.
3. Zhang, J., Huang, W., Chen, Z., Jiang, H., Su, M., Wang, C. Effect of auricular acupuncture on neuroplasticity of stroke patients with motor dysfunction: A fNIRS study // Randomized Controlled Trial Neurosci Lett. – 2023. – Vol. 24, No 12. – P. 137398. – DOI: 10.1016/j.neulet.2023.137398.
4. Lanning, B., Smith, C., Ugale, C., Nazarenko, E., Marchand, W. Using Functional Near-Infrared Spectroscopy to Elucidate Neurophysiological Mechanism of Action of Equine-Assisted Services // Proof-of-Concept Study. Int J Environ Res Public Health. – 2025. – Vol. 22, No 8. – P. 12-94. – DOI: 10.3390/ijerph22081294.
5. Калюжный, Л.В. Физиологические механизмы регуляции болевой чувствительности / Л.В. Калюжный. – М.: Медицина, 1984. – 216 с.
6. Мулик, А.Б. Универсальный метод оценки уровня общей неспецифической реактивности организма человека и традиционных видов лабораторных животных / А.Б. Мулик // Вестник Волгоградского государственного университета. Серия 11. Естественные. Науки. – 2012. – № 2(4). – С. 11-15.
7. Мулик, А.Б. Биометрическая характеристика болевой чувствительности организма / А.Б. Мулик, Ю.А. Шатыр, М.В. Постнова // Сенсорные системы. – 2013. – Т. 27, № 1. – С. 60-67.
8. Мулик, А.Б. Уровень общей неспецифической реактивности организма: монография / А.Б. Мулик, М.В. Постнова, Ю.А. Мулик. – Волгоград: Волгоградское научное издательство. – 2009. – 224 с.
9. Шатыр, Ю.А. Типологизация системной адаптации организма человека / Ю.А. Шатыр, С.В. Булатецкий, И.В. Улесикова // Российский медико-биологический вестник им. Академика И.П. Павлова. – 2017. – Т. 25, № 3. – С. 362-372. – DOI: 10.23888/Pavlovj20173362-372
10. Chen, L., Li, Q., Song, H. Classification of schizophrenia using general linear model and support vector machine via fNIRS Affiliations Expand // Phys Eng Sci Med. – 2020. – Vol. 43, No 4. – P. 1151-1160. – DOI: 10.1007/s13246-020-00920-0.
11. Медведев, В.И. Адаптация человека / В.И. Медведев. – СПб: Институт мозга человека. – 2003. – 551 с.

12. Кандрор, И.С. Очерки по физиологии и гигиене человека на Крайнем Севере / И.С. Кандрор. – М.: Медицина, 1968. – 280 с.
13. Матвеев, Л.М. Работоспособность и гемодинамика у мужчин в условиях проживания в средних и высоких широтах / Л.М. Матвеев // Физиология человека. – 1985. – Т. 11, № 1. – С. 113-120.

REFERENCES

1. Ferrari, M., Quaresima, V. (2012) A brief review on the history of human functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) development and fields of application. *Neuroimage.* 63 (2), 921-935, doi: 10.1016/j.neuroimage.2012.03.049
2. McKendrick, R., Mehta, R., Ayaz, H., Scheldrup, M., Parasuraman R. (2017) Prefrontal Hemodynamics of Physical Activity and Environmental Complexity During Cognitive Work. *Hum Factors.* 59 (1), 147-162, doi: 10.1177/0018720816675053.
3. Zhang, J., Huang, W., Chen, Z., Jiang, H., Su, M., Wang, C. (2023) Effect of auricular acupuncture on neuroplasticity of stroke patients with motor dysfunction: A fNIRS study // *Randomized Controlled Trial Neurosci Lett.* 24 (12), 137-398, doi: 10.1016/j.neulet.2023.137398.
4. Lanning, B., Smith, C., Ugale, C., Nazarenko, E. & Marchand, W. Using Functional Near-Infrared Spectroscopy to Elucidate Neurophysiological Mechanism of Action of Equine-Assisted Services (2025) // *Proof-of-Concept Study. Int J Environ Res Public Health.* 22 (8), 12-94, doi: 10.3390/ijerph22081294.
5. Kalyuzhny, L.V. (1984) *Physiological Mechanisms of Pain Sensitivity Regulation*. Moscow: Medicine, 216 p. (In Russian).
6. Mulik, A.B. (2012) [A universal method for assessing the level of general nonspecific reactivity of the human body and traditional types of laboratory animals]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 11. Estestvenny`e. Nauki. = Bulletin of the Volgograd State University. Episode 11. Natural ones. Science*. 2 (4), 11-15. (In Russian).
7. Mulik, A.B., Shatyr, Yu.A. & Postnova, M.V. (2013) [Biometric Characteristics of the Body's Pain Sensitivity]. *Sensorny`e sistemy` = Sensory Systems.* 27 (1), 60-67. (In Russian).
8. Mulik, A.B., Postnova, M.V. & Mulik, Yu.A. (2009). *The level of general nonspecific reactivity of the body: monograph*. Volgograd: Volgograd Scientific Publishing House. 224 p. (In Russian).
9. Shatyr, Yu.A., Bulatetsky, S.V. & Ulesikova, I.V. (2017) [Typologization of the Systemic Adaptation of the Human Body]. *Rossijskij mediko-biologicheskij vestnik im. Akademika I.P. Pavlova = Russian Medical and Biological Bulletin named after Academician I.P. Pavlov.* 25 (3), 362-372, doi:10.23888/Pavlovj20173362-372. (In Russian).
10. Chen, L., Li, Q., Song, H. (2020) Classification of schizophrenia using general linear model and support vector machine via fNIRS Affiliations Expand. *Phys Eng Sci Med*. 43 (4), 1151-1160, doi: 10.1007/s13246-020-00920-0.
11. Medvedev, V.I. (2003) *Human Adaptation.* St. Petersburg: Institute of the Human Brain. 551 p. (In Russian).
12. Kandror, I.S. (1968) *Essays on Human Physiology and Hygiene in the Far North.* Moscow: Meditsina, 280 p. (In Russian).
13. Matveev, L.M. (1985) [Performance and Hemodynamics in Men Living in Middle and High Latitudes]. Fiziologiya cheloveka = *Human Physiology*. 11 (1), 113-120. (In Russian).

RESULTS OF ASSESSMENT OF STANDARD INDICATORS OF FUNCTIONAL SPECTROSCOPY OF THE NEAR-INFRARED DIAPASON IN PERSONS WITH DIFFERENT LEVELS OF GENERAL NONSPECIFIC REACTIVITY OF THE BODY (SEARCH RESEARCH)

I. V. Ulesikova, N. A. Shchukina, V. V. Voronov, S. S. Gringuk, A. B. Mulik

The article discusses the possibility of using functional near-infrared spectroscopy (fNIRS) as a non-invasive express method for monitoring the level of cortical tissue oxygenation for real-time neuroimaging. The method was used to assess the correlations between standard fNIRS indicators and the individual level of general nonspecific reactivity of the body. The study involved 37 clinically healthy men aged 21–27 who signed a voluntary consent form for research purposes. Each subject underwent fNIRS assessment of cortical oxygenation and pain threshold assessment (PTA) from 09:00 to 13:00. Statistical analysis of the data was performed using Spearman's rank correlation. It was found that the oxygen content in the blood vessels of the brain correlates with the severity of individual sensitivity and the body's reactivity. The relationships between PTA and the background level of oxygenation were identified.

Keywords: pain threshold, level of general nonspecific reactivity of the body, functional near-infrared spectroscopy

Поступила в редакцию 12.05.2026 г.

Улесикова Ирина Владимировна
кандидат биологических наук,
научный сотрудник научно-исследовательского отдела обитаемости Научно-исследовательского центра, ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» МО РФ,
г. Санкт-Петербург, РФ.
E-mail: ulesikovairina@mail.ru
ORCID: 0000-0001-9284-3280
SPIN-код: 9859-6036
Author ID: 884475

Ulesikova Irina Vladimirovna
Candidate of Biological Sciences, Researcher of the Research Department of Habitability of the Research Center ,
S.M. Kirov Military Medical Academy of the Ministry of Defense of the Russian Federation, St. Petersburg, RF.

Щукина Нэлла Алексеевна
научный сотрудник научно-исследовательского отдела обитаемости Научно-исследовательского центра, ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» МО РФ,
г. Санкт-Петербург, РФ.
E-mail: tshukina.nella@mail.ru
ORCID: 0000-0001-6479-5971
SPIN-код: 8582-5461
Author ID: 878776

Shchukina Nella Alekseevna
Researcher of the Research Department of Habitability of the Research Center,
S.M. Kirov Military Medical Academy of the Ministry of Defense of the Russian Federation, St. Petersburg, RF.

Воронов Виктор Витальевич
кандидат медицинских наук, начальник лаборатории обитаемости объектов Научно-исследовательского центра, ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» МО РФ,
г. Санкт-Петербург, РФ.
E-mail: voronov_viktor@mail.ru
ORCID: 0009-0005-2430-891X
SPIN-код: 1628-6134
Author ID: 848816

Voronov Viktor Vitalievich
Candidate of Medical Sciences, Head of the Habitability Laboratory of the Research Center,
S.M. Kirov Military Medical Academy of the Ministry of Defense of the Russian Federation, St. Petersburg, RF.

Гринчук Светлана Сергеевна
научный сотрудник научно-исследовательского отдела обитаемости Научно-исследовательского центра, ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» МО РФ,
г. Санкт-Петербург, РФ.
E-mail: fotinasvs53@gmail.com
ORCID: 0009-0006-3323-9781
SPIN-код: 8459-1211
Author ID: 878322

Grinchuk Svetlana Sergeevna
Researcher of the Research Department of Habitability of the Research Center ,
S.M. Kirov Military Medical Academy of the Ministry of Defense of the Russian Federation, St. Petersburg, RF.

Мулик Александр Борисович
доктор биологических наук, профессор, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела медико-психологического сопровождения Научно-исследовательского центра,
ФГБВОУ ВО «Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова» МО РФ, г. Санкт-Петербург, РФ.
E-mail: mulikab@mail.ru
ORCID: 0000-0001-6472-839X
SPIN-код: 8079-9698
Author ID: 389323

Mulik Alexander Borisovich
Doctor of Biological Sciences, Professor, Senior Researcher of the Research Department of Medical and Psychological Support of the Research Center ,
S.M. Kirov Military Medical Academy of the Ministry of Defense of the Russian Federation, St. Petersburg, RF.