

Интерфейс мозг-компьютер на основе спектроскопии в ближнем инфракрасном диапазоне. Особенности обработки сигнала для улучшения распознавания ментальных задач в реальном времени

Исаев М.Р. , Бобров П.Д.



Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва, Россия

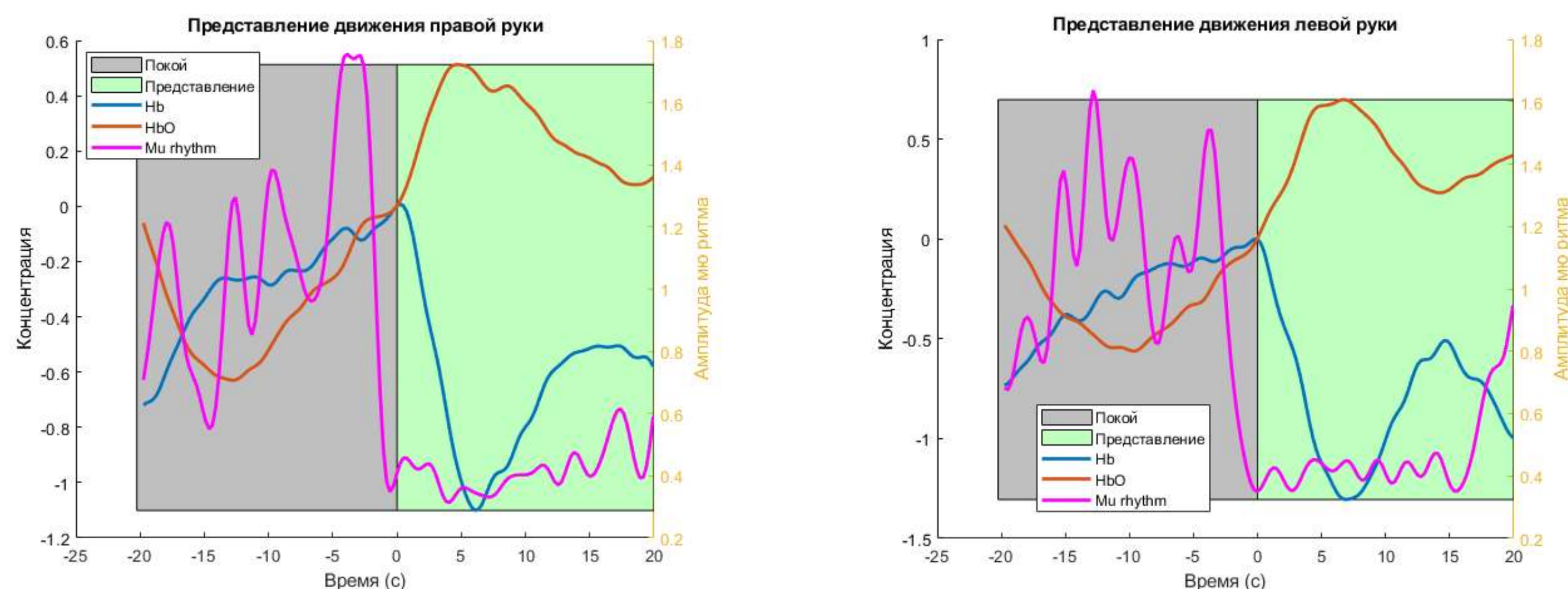
Экспериментальный протокол

5 здоровых испытуемых; регистрация гемодинамической активности мозга с помощью спектроскопии в ближней инфракрасной области (БИКС) и электрической активности (ЭЭГ).

Ментальные состояния: покой, представления движения левой рукой, представление движения правой рукой. Длительность одного состояния – 20 секунд. Длительность одного эксперимента около 10 минут.

По 10 экспериментов с каждым испытуемым. Классификация проводилась по непересекающимся секундным интервалам.

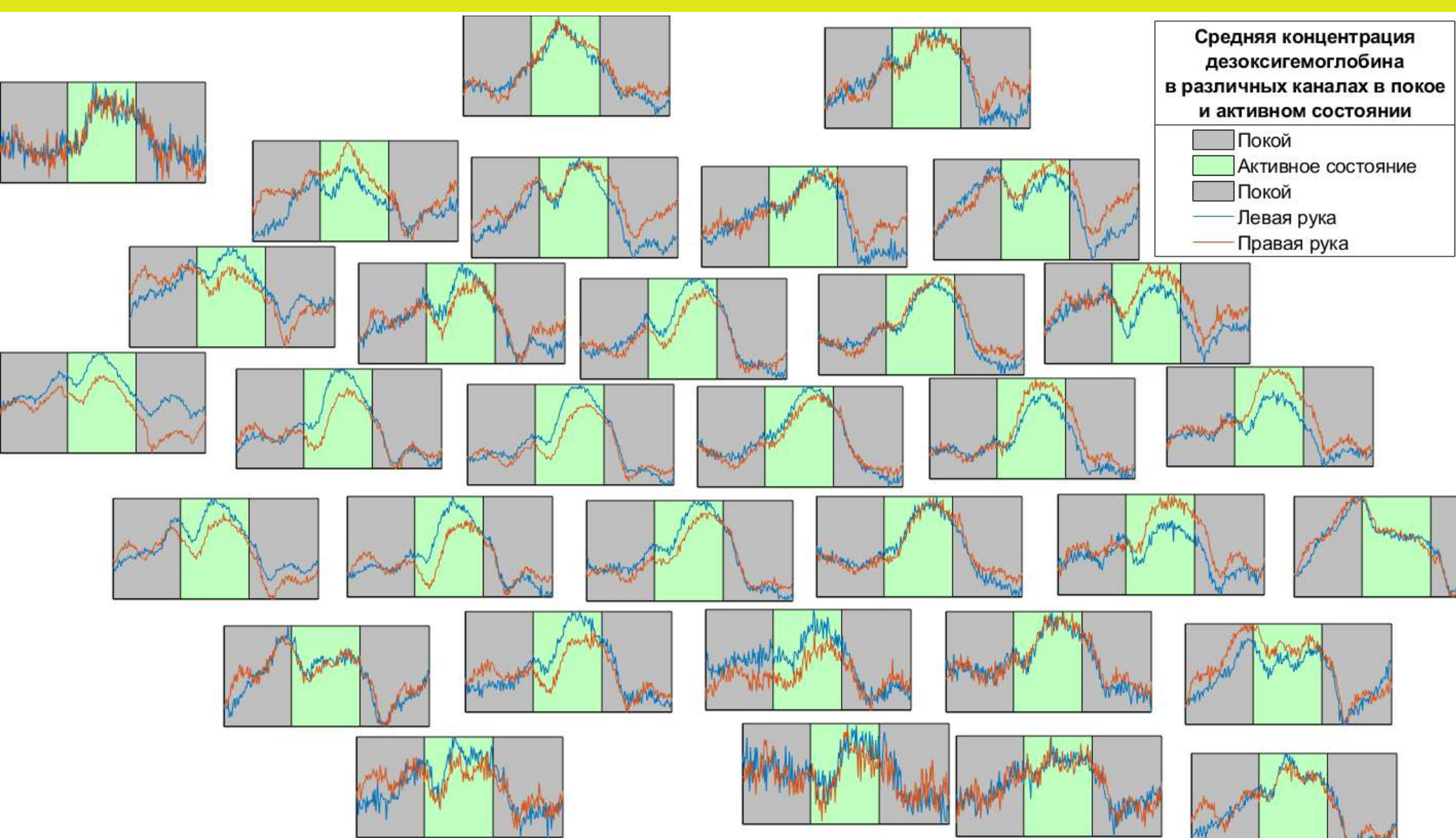
Гемодинамический ответ и мю-ритм



Амплитуда мю-ритма рассчитывалась, как амплитуда компоненты, полученной из разложения сигнала ЭЭГ по методу независимых компонент. Концентрации окси- и дезоксигемоглобина представлены в относительных единицах для каналов БИКС, расположенных на поверхности головы в полушариях, контрлатеральных представляемой руке.

Наблюдается подавление мю-ритма на протяжении всей инструкции, а также корреляция гемодинамического и электрического отклика на выполнение ментальной задачи. Сигнал БИКС достигает своего пика на 5-7 секунд позже, чем подавляется мю-ритм.

Распределение отклика по каналам при представлении различных рук



Представлены усреднённые данные по всем испытуемым и всем экспериментальным сессиям. По оси абсцисс отложено время в секундах, по оси ординат – концентрация дезоксигемоглобина в относительных единицах. Расположение графиков соответствует расположению каналов по поверхности головы (вид сверху).

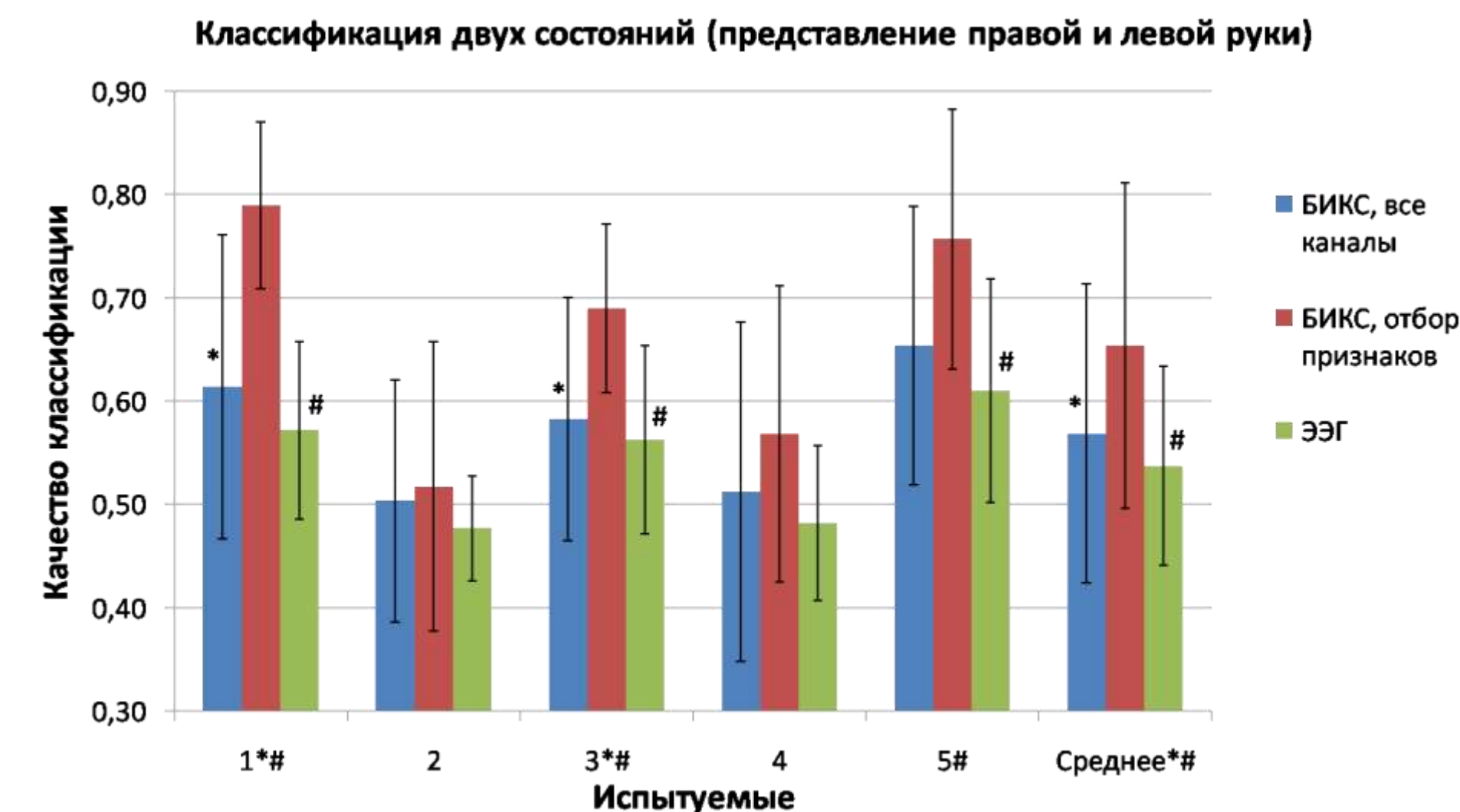
Отклик на выполнение инструкции наблюдается в большинстве каналов, независимо от полушария. Каналы, в которых ответ различается для разных рук, позволяют классифицировать состояния при работе интерфейса мозг-компьютер.

Классификация БИКС и ЭЭГ сигнала

Классификация БИКС сигнала осуществлялась с помощью линейного дискриминантного анализа, ЭЭГ – квадратичного. Проводилась симуляция классификации в режиме реального времени, в котором отбор признаков с обучением и тестирование проводятся на непересекающихся массивах данных.

Планками отмечены стандартные отклонения, * – достоверное различие 2-ого и 1-ого столбцов, # – достоверное отличие 2-ого и 3-ого столбцов (two-tailed paired t-test, $p < 0,05$).

Найден непараметрический алгоритм отбора признаков БИКС сигнала, возможный в реальном времени, который позволяет значимо улучшить качество классификации, как по сравнению с классификацией по всем каналам БИКС, так и по сравнению с классификацией по ЭЭГ сигналу.



Особенности фильтрации БИКС сигнала

Представлено усреднённое качество классификации покой – активное состояние и ошибка среднего при различных параметрах фильтрации. Жирным отмечен максимум в строке, * – значимый максимум (two-tailed paired t-test, $p < 0,05$).

Учёт периодичности инструкций позволяет отфильтровать шумовые составляющие сигнала и значимо увеличить качество классификации.

Испытуемый	Нефильтрованный сигнал	Простое скользящее среднее	Фильтр верхних частот
1	0,74±0,01	0,88±0,01	*0,92±0,01
2	0,53±0,01	0,65±0,02	*0,72±0,02
3	0,62±0,02	0,74±0,02	0,78±0,01
4	0,61±0,01	0,75±0,01	*0,81±0,02
5	0,65±0,03	0,83±0,02	*0,91±0,01

Влияние дообучения на классификацию БИКС

Классификация левая рука – правая рука. Красным представлено усреднённое качество классификации по всем каналам БИКС при использовании для обучения n других экспериментальных сессий того же испытуемого. Синим – обучение и тестирование в рамках одного эксперимента. Планками отмечена ошибка среднего.

Расширение обучающей выборки за счёт других экспериментов значимо улучшает качество классификации, начиная с $n = 5$. Также это позволяет со 2-ой сессии предьявлять обратную связь в первом же блоке. В более ранних сессиях предлагается проводить отбор признаков и классифицировать сигнал по наиболее значимым из них.

