
ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМИОГРАФИЧЕСКИХ
ПОКАЗАТЕЛЕЙ ИСПЫТУЕМЫХ ПРИ СЕНСОМОТОРНЫХ ТРЕНИНГАХ
В РАЗЛИЧНЫХ СОЦИАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ В ДИАДАХ**

© 2025 г. Е. С. Галушка¹ *, Е. П. Муртазина¹, С. С. Перцов¹

¹Федеральный исследовательский центр оригинальных и перспективных биомедицинских
и фармацевтических технологий, Москва, Россия

*E-mail: galushka_es@academpharm.ru

Поступила в редакцию 24.02.2025 г.

После доработки 27.03.2025 г.

Принята к публикации 14.04.2025 г.

Цель настоящей работы – анализ амплитудно-спектральных показателей электромиограмм и их взаимосвязей с результативностью испытуемых при выполнении сенсомоторных тренировок в разных социальных условиях деятельности в диадах. Исследование проведено на 256 испытуемых. В качестве модели деятельности использовался сенсомоторный тренинг “Столбики” программно-аппаратного комплекса “БОС-Кинезис” (ООО “Нейротех”, Россия) с биологической обратной связью от электромиографических сигналов с лучевого сгибателя кисти (лат. *flexor carpi radialis*) ведущей руки испытуемых, выполнявших задание в трех социальных контекстах: индивидуальном, соревновательном и кооперативном. При исследовании характеристик ЭМГ (электромиограммы) сенсомоторной деятельности испытуемых в разных социальных условиях выявлены следующие половые различия: на индивидуальном этапе выше частотные характеристики ЭМГ у женщин, а при соревновании и кооперации – больше амплитуда и мощность спектра ЭМГ у мужчин. Динамика показателей ЭМГ женщин, в отличие от мужчин, сопряжена с изменением социальных условий деятельности. Вариабельность частотных характеристик спектра ЭМГ возрастала и у мужчин, и у женщин в совместных условиях деятельности. Обнаружен противоположный характер изменений вариабельности интегральной амплитуды и суммарной мощности спектра ЭМГ в совместных контекстах деятельности по сравнению с индивидуальным: рост этих показателей у мужчин, снижение – у женщин. В женской выборке результативность тренировок положительно коррелировала со средними показателями частоты ЭМГ во всех контекстах деятельности, отрицательно – с амплитудой и мощностью спектра ЭМГ при кооперации. Результативность мужчин и женщин во всех условиях сенсомоторной деятельности отрицательно коррелировала с вариабельностью характеристик ЭМГ. Результаты исследования вносят вклад в понимание особенностей реализации произвольных движений человека при выполнении сенсомоторных заданий в различных условиях социальных взаимодействий. Полученные данные могут лечь в основу выявления прогностических критериев эффективности совместной сенсомоторной деятельности для создания методик подбора успешно действующих команд и оптимизации производственных процессов.

Ключевые слова: результативность сенсомоторной деятельности, социальный контекст, соревнование, кооперация, амплитуда, частота, мощность спектра электромиограммы

ВВЕДЕНИЕ

Совместная деятельность, определяемая как совокупность скоординированных в пространстве и во времени действий субъектов [1], занимает значимое место в жизни людей. Многие профессиональные сферы деятельности предъявляют повышенные требования к точности взаимодействий ее участников. Показано, что решение двигательных групповых задач способно улучшать навыки межличностной координации, приводит к более успешному выполнению заданий и укрепляет доверие между участниками группы [2, 3]. В образовательной среде широко используются контексты соревнования и сотрудничества для повышения вовлеченности в процесс обучения и улучшения академической успеваемости учащихся [4, 5]. Эти исследования подчеркивают актуальность изучения психофизиологических механизмов адаптации к различным социальным условиям, влияющим на профессиональную успешность, эффективность образовательного процесса и качество жизни человека в обществе.

Показано, что социальный контекст может снижать эффективность групповой деятельности. Так, чрезмерная конкуренция между коллегами в трудовых коллективах приводит к контрпродуктивным действиям и саботажу чужой работы, что имеет неблагоприятные последствия как для самих работников, так и для организации в целом [6]. Сложность двигательных задач может привести к снижению продуктивности участников группы и разрушить внутригрупповую динамику [2]. Так, несогласованность действий в процессе их решения увеличивает среднюю частоту конфликтов. Предполагается, что соревновательный контекст снижает производительность деятельности вследствие социального стресса и повышения когнитивной нагрузки, связанной с необходимостью отслеживать информацию, не относящуюся непосредственно к решению задачи [7].

Таким образом, сотрудничество и конкуренция относятся к эмоционально и мотивационно значимым социальным условиям целенаправленного поведения человека, вследствие чего они оказывают значительное влияние на характеристики деятельности (кинематические параметры движений, результативность и др.), особенности ее нервно-мышечной регуляции, восприятие и анализ обратной афферентации от собственных и чужих действий [8–11].

В настоящее время в доступной научной литературе существует небольшое количество публикаций с результатами исследований особенностей изменений характеристик электромиограмм (ЭМГ) людей в различных социальных условиях [12, 13]. Например, Tamburro с соавт. [13] предлагают использовать регистрацию ЭМГ-сигналов в качестве одного из показателей мультимодальной системы анализа нейрофизиологических механизмов диадических взаимодействий в реальных условиях.

В связи с вышеизложенным представляется актуальным и перспективным исследование центрально-периферических механизмов межличностных взаимодействий и двигательной координации с использованием системного анализа кинематических и ЭМГ-показателей человека, с учетом достигаемых им результатов деятельности в различных социальных контекстах.

Исходя из анализа существующей научной литературы, нами выдвинута следующая гипотеза исследования: особенности изменений ЭМГ-показателей в процессе сенсомоторной деятельности человека могут быть взаимосвязаны с результативностью, достигаемой субъектами в разных условиях социальных взаимодействий, и эти изменения различаются у мужчин и женщин.

Цель исследования – анализ амплитудно-спектральных показателей ЭМГ и их взаимосвязей с результативностью испытуемых при выполнении сенсомоторных тренировок в разных социальных условиях деятельности в диадах. В соответствии с целью были сформулированы следующие задачи:

- 1) провести сравнительный анализ показателей ЭМГ мужчин и женщин в процессе выполнения сенсомоторной задачи в разных социальных контекстах в диадах;
- 2) исследовать взаимосвязи показателей результативности сенсомоторной деятельности и характеристик ЭМГ испытуемых в разных социальных контекстах.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Описание выборки. Исследование проведено на 256 условно здоровых испытуемых: 65 пар мужчин и 63 пары женщин (средний возраст 19 лет 7 мес. $\pm$ 3 мес.). Участники рекрутировались среди студентов Российского университета медицины Минздрава России. Испытуемые одного пола, знакомые ранее друг с другом, приходили на обследование парами. Критериями исключения были нескорректированные нарушения зрения, неврологические и сердечно-сосудистые заболевания в анамнезе. Участие в исследовании было добровольным и безвозмездным. После ознакомления с информацией о целях и методах обследования испытуемые давали добровольное информированное согласие.

Модель деятельности – сенсомоторный тренинг “Столбики” программно-аппаратного комплекса “БОС-Кинезис” (ООО “Нейротех”), основанный на биологической обратной связи (БОС) от ЭМГ-сигналов, регистрируемых датчиками “Колибри” от лучевого сгибателя кисти (лат. *flexor carpi radialis*) ведущей руки испытуемых. Участники выполняли задание, сидя перед экраном компьютера на расстоянии 80 см.

Суть БОС-ЭМГ-тренинга заключалась в отображении на мониторе компьютера информации о состоянии мышечного напряжения в наглядной форме – в виде вертикального столбика с изменяющейся высотой, которая автоматически вычислялась программой “БОС-Кинезис” по амплитудно-частотным характеристикам ЭМГ-сигнала. Перед началом тренировок проводилась калибровка, в результате которой определялись показатели мышечного напряжения, задающие индивидуальный масштаб шкалы для нормализации высоты столбика и выделения соответствующих границ целевого диапазона. На этом этапе участников инструктировали сжать кулак и удерживать его в напряжении в течение 5 с. После калибровки на экране появлялась шкала столбика, где 100% – это максимально возможные для данной группы мышц амплитудно-частотные характеристики ЭМГ-сигнала. Целевой диапазон выделялся в виде прямоугольной рамки, середина его соответствовала середине шкалы (50%), а границы $\pm 10\%$ от нее. Согласно инструкции, задача испытуемых состояла в регулировании уровня мышечного напряжения, позволяющего удерживать высоту столбика в пределах заданного целевого диапазона.

Цвет столбика был зеленым, когда его высота находилась в целевой области, тогда как желтый и красный цвета указывали на отклонение его высоты от середины целевого диапазона более чем на 10 и 30% соответственно. Основной показатель результативности выполнения сенсомоторной задачи оценивался в процентах длительности удержания высоты столбика в целевом диапазоне от общего времени тренинга – Т% “Отлично”. Он вычислялся программой “БОС-Кинезис” автоматически для каждого испытуемого на всех этапах деятельности.

Дизайн обследований. Испытуемые выполняли задания в индивидуальном, соревновательном и кооперативном контекстах деятельности, которые задавались с помощью внешних обстановочных условий проведения обследований и инструкциями экспериментаторов (рис. 1).

На индивидуальном этапе участники были разделены перегородками и обучались выполнять тренинг 3 раза по 2 мин с паузами для отдыха (30 с). Перед соревновательной деятельностью перегородки убирались, и на одном мониторе отображались два столбика от ЭМГ-сигналов каждого из соревнующихся участников. Испытуемые должны были

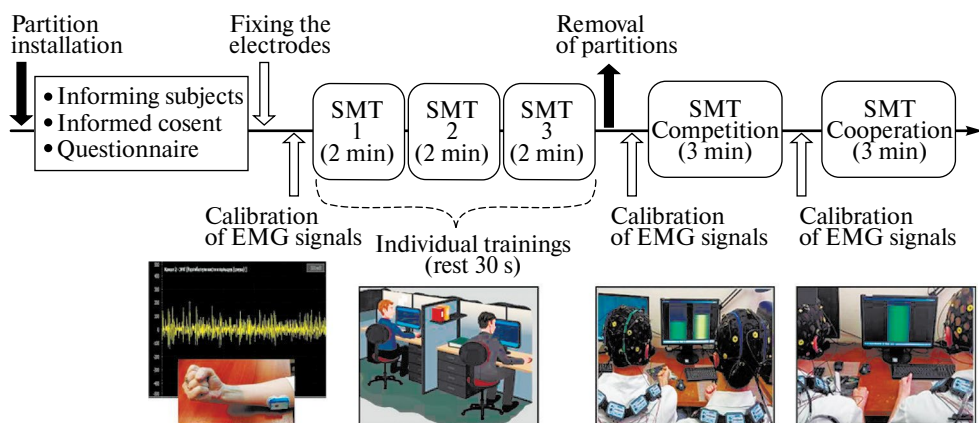


Рис. 1. Схема протокола обследований испытуемых с иллюстрациями сенсомоторных тренингов (СМТ) на индивидуальном, соревновательном и кооперативном этапах деятельности.

в течение 3 мин дольше соперника удерживать высоту своего столбика в целевом диапазоне. Кооперативное выполнение сенсомоторного тренинга осуществлялось с помощью предъявления на одном мониторе компьютера общего столбика, высота которого была интегральным результатом, рассчитанным согласно алгоритму программного обеспечения “БОС-Кинезис” по высотам двух столбиков, соответствующих персональным ЭМГ участников. При этом испытуемые видели в правой части монитора свой “вклад” в общую результативность пары, т.е. высоту и цвет своих “столбиков”.

Методика исследования. В процессе выполнения сенсомоторных тренингов осуществлялась биполярная регистрация и беспроводная передача усиленных ЭМГ-сигналов с помощью датчиков “Колибри” от лучевого сгибателя кисти ведущей руки испытуемых. Расстояние между активными зонами датчиков составляет 2 см, частота дискретизации – 40 кГц, диапазон амплитуды – 0.1 мкВ – 200 мВ, частотная полоса пропускания – 10–400 Гц. Для каждого тренинга записывались файлы ЭМГ-сигналов, которые экспортировались в формате EDF в программу обработки и анализа AcqKnowledge v.5.0 (BIOPAC system, США). В ней с использованием встроенных опций вычислялись следующие показатели ЭМГ: максимальные интегральные значения ЭМГ с эпохой анализа 500 мс (Max iEMG); спектральные характеристики ЭМГ с эпохой анализа 1000 мс, такие как средняя (Mean F), медианная (Median F) и пиковая (Peak F) частоты, средняя (Mean P) и суммарная мощности (Total P). Согласно литературным данным, совокупность амплитудных и спектральных (частоты и мощности) характеристик ЭМГ может отражать изменения функционального состояния мышц в разных условиях деятельности, у разных групп субъектов (по полу, возрасту, состоянию здоровья, степени тренированности и др.) [14].

По динамикам этим показателей за время каждого тренинга вычислялись средние значения и стандартные отклонения (Ст. Откл.) вышеперечисленных амплитудно-спектральных характеристик ЭМГ отдельных испытуемых: для индивидуальных этапов – по 120 эпохам за 2 мин, для этапов соревнования и кооперации – по 180 эпохам за 3 мин деятельности испытуемых.

Статистическая обработка данных. Из трех индивидуальных попыток выбирался тренинг с максимальной результативностью для последующего сравнительного анализа характеристик ЭМГ в соревновательных и кооперативных условиях деятельности.

Проверка данных на нормальность распределения осуществлялась тремя методами: Шапиро–Уилка, д’Агостино–Пирсона и Колмогорова–Смирнова. На основании

этих критериев сделано заключение о несоответствии данных в выборках нормальному распределению, вследствие чего использовались непараметрические методы статистической обработки. Анализ изменений показателей в разных контекстах деятельности осуществлялся с помощью метода Фридмана (Fr) с поправкой для множественных сравнений по методу Данна (p'). Для парных сравнений показателей между выборками мужчин и женщин применялся критерий Манна–Уитни (MU). Для выявления взаимосвязей между показателями результативности и амплитудно-спектральными характеристиками ЭМГ в разных условиях деятельности использовался корреляционный анализ по методу Спирмена отдельно в группах мужчин и женщин. В таблицах и графиках данные представлены медианами и квартилями (Q1, Me, Q3). Был принят статистический уровень значимости результатов $p < 0.05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Сравнительный анализ средних значений характеристик ЭМГ в индивидуальных условиях деятельности выявил, что выборки мужчин и женщин исходно различались только по показателю средней частоты спектра ЭМГ. У женщин она была выше, чем у мужчин (p (MU) < 0.05; табл. 1).

Таблица 1. Результаты статистического анализа средних за тренинг значений показателей ЭМГ в группах мужчин (М) и женщин (Ж) в разных контекстах сенсомоторной деятельности

Контексты Показатели	Индивидуально, медиана (Q1; Q3)		Соревнование, медиана (Q1; Q3)		Кооперация, медиана (Q1; Q3)	
	М	Ж	М	Ж	М	Ж
Max iEMG (μ V/s)	17.4 (8.73; 31.3)	19.4 (9.62; 30.5)	19.9 (9.29; 39.0)	14.0 (7.17; 26.5)***	19.0 (8.86; 28.4)	12.9 (5.93; 19.7)****###
Mean F (Hz)	126 (117; 137)	131 (119; 146)*	130 (119; 140)	132 (120; 145) ++	129 (119; 142)	132 (120; 145)
Median F (Hz)	75.2 (65.4; 84.4)	77.4 (68.3; 87.3)	74.1 (66.2; 85.1)	76.8 (68.0; 88.0)	76.6 (67.8; 87.1)	77.3 (70.1; 85.7)
Peak F (Hz)	62.4 (52.0; 72.1)	63.6 (55.7; 71.5)	60.9 (49.3; 70.2)	61.9 (50.5; 71.0)	60.9 (51.1; 70.7)	60.4 (51.8; 67.9)+
Mean P ($mV^2 \cdot 10^3 / Hz$)	1.06 (0.26; 3.13)	1.40 (0.38; 3.50)	1.15 (0.27; 3.98)	0.76 (0.21; 2.64)** ++	1.17 (0.35; 2.70)	0.63 (0.13; 1.40)*** +++ ###
Total P ($mV^2 \cdot 10^3 / Hz$)	151 (34.0; 467)	181 (48.7; 453)	191 (38.5; 732)	98.2 (24.9; 342)**	171 (49.4; 409)	81.6 (17.4; 182)*** +++ ###

Примечания. * – половые различия; + – различия между индивидуальным и совместными условиями; # – различия между соревнованием и кооперацией. Количество символов соответствует уровням значимости различий с вероятностями: $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$.

Анализ средних значений амплитудно-спектральных показателей ЭМГ у мужчин не выявил достоверных изменений в разных социальных условиях сенсомоторной деятельности. В группе женщин в совместных контекстах наблюдался рост средней частоты ЭМГ (Mean F: $Fr(124, 2) = 7.89, p < 0.05$), особенно при соревновании относительно индивидуального тренинга ($p' < 0.05$), и достоверное снижение пиковой частоты спектральной функции ЭМГ (Peak F: $Fr(124, 2) = 8.24, p < 0.05$) (табл. 1), более выраженное при кооперации по сравнению с индивидуальным этапом деятельности ($p' < 0.05$).

Выявлено, что у женщин наблюдалось снижение Max iEMG в совместных условиях деятельности ($Fr(124, 2) = 50.8; p < 0.001$), особенно при кооперации относительно индивидуального ($p' < 0.001$) и соревновательного ($p' < 0.001$) этапов (табл. 1, рис. 2а). У женщин средние значения максимальной интегральной амплитуды ЭМГ были достоверно ниже при соревновании (p (MU) < 0.01) и кооперации (p (MU) < 0.001), чем у мужчин.

Показатели средней и суммарной мощности спектра ЭМГ (рис. 2б) значимо снижались у женщин в совместных контекстах деятельности (Mean P: $Fr(122, 2) = 49.8, p < 0.001$; Total P: $Fr(124, 2) = 48.2, p < 0.001$) и были достоверно ниже, чем у мужчин как при соревновании (p (MU) < 0.05), так и при сотрудничестве (p (MU) < 0.05 и < 0.001).

У женщин обнаружено достоверное снижение средних значений Max iEMG, Mean P, Total P при кооперации относительно соревновательного контекста деятельности ($p' < 0.001$).

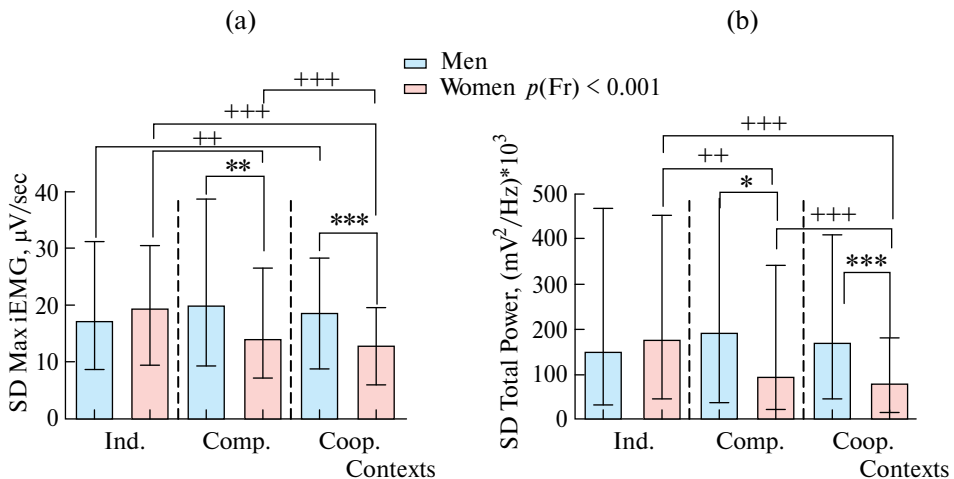


Рис. 2. Динамика средних значений интегральной амплитуды (а) и суммарной спектральной мощности (б) ЭМГ мужчин и женщин при выполнении сенсомоторной задачи в индивидуальном (Ind.), соревновательном (Сорп.) и кооперативном (Сооп.) условиях деятельности в диадах. ++ – $p < 0.01$, +++ – $p < 0.001$, * – $p < 0.05$, ** – $p < 0.01$, *** – $p < 0.001$.

Сравнительный анализ Ст. Откл. характеристик ЭМГ, отражающих их вариабельность в процессе выполнения сенсомоторных тренингов, не выявил различий между показателями у мужчин и женщин в индивидуальных условиях деятельности (табл. 2).

В совместных условиях деятельности выявлено, что показатели вариабельности ЭМГ у мужчин по сравнению с женщинами имели более высокие значения Ст. Откл. интегральной амплитуды (Max iEMG: p (MU) < 0.01 – при соревновании и p (MU) < 0.001 – при кооперации); средней мощности (Mean P: p (MU) < 0.05 и p (MU) < 0.001 соответственно); суммарной мощности (Total P: p (MU) < 0.01 и p (MU) < 0.001 соответственно) спектра ЭМГ (рис. 3). Достоверных половых различий вариабельности частотных характеристик спектра ЭМГ по их Ст. Откл. не обнаружено.

Таблица 2. Результаты статистического анализа Ст. Откл. значений показателей ЭМГ в процессе тренировок мужчин (М) и женщин (Ж) в разных контекстах сенсомоторной деятельности

Контексты Показатели	Индивидуально, медиана (Q1; Q3)		Соревнование, медиана (Q1; Q3)		Кооперация, медиана (Q1; Q3)	
	М	Ж	М	Ж	М	Ж
Maxi EMG ($\mu\text{V/s}$)	2.42 (1.25; 4.19)	2.29 (1.19; 4.60)	2.67 (1.17; 4.95)	1.75 (0.94; 3.08)***	3.52 (1.58; 6.20) ⁺	1.62 (0.76; 3.67)*** ++
Mean F (Hz)	5.90 (4.98; 7.93)	6.20 (5.41; 7.51)	6.23 (5.30; 8.45)	6.85 (5.48; 9.16)***	6.53 (5.40; 8.85)	7.37 (5.81; 9.75)***
Median F (Hz)	6.19 (5.10; 7.62)	6.03 (5.20; 7.30)	6.75 (5.29; 8.97) ⁺	6.27 (5.39; 8.28)	6.51 (5.57; 8.85) ⁺	6.59 (5.36; 8.82)
Peak F (Hz)	17.9 (15.8; 21.7)	18.4 (15.8; 22.0)	18.8 (15.9; 22.3)	18.1 (16.3; 22.1)	19.3 (16.5; 22.3)	18.5 (16.5; 21.7)
Mean P ($\text{mV}^2 \cdot 10^3 / \text{Hz}$)	0.275 (0.081; 0.818)	0.258 (0.065; 0.854)	0.328 (0.083; 1.25)	0.173 (0.057; 0.515)**	0.448 (0.123; 1.34)	0.149 (0.035; 0.484)***++
Total P ($\text{mV}^2 \cdot 10^3 / \text{Hz}$)	39.5 (11.1; 115)	33.3 (8.44; 110)	44.2 (10.8; 164)	22.3 (7.36; 66.4)**	59.2 (16.6; 194)	19.3 (4.46; 62.5)*** +++

Примечания. * – различия между мужчинами и женщинами; + – различия между контекстами деятельности. Количество символов соответствует уровням значимости различий с вероятностями: $p < 0.05$, $p < 0.01$, $p < 0.001$.

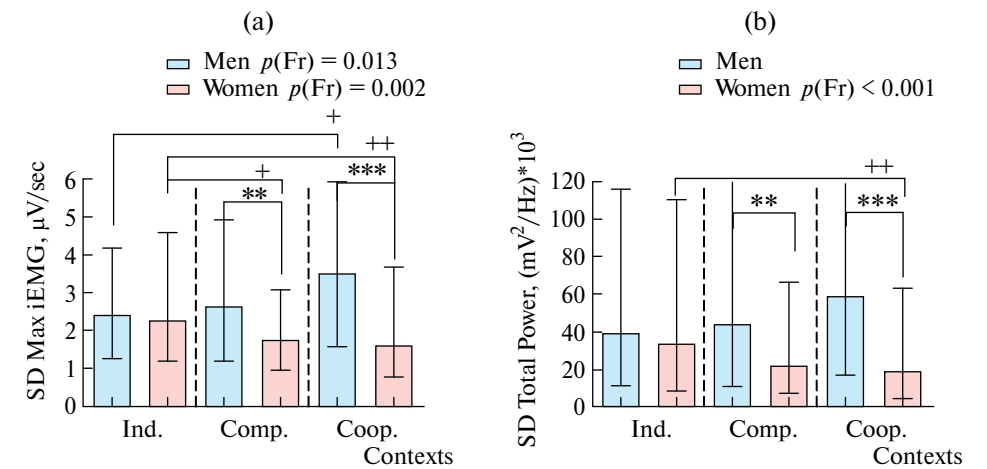


Рис. 3. Динамика Ст. Откл. (SD) интегральной амплитуды (а) и суммарной мощности спектра ЭМГ (б) в группах мужчин и женщин при выполнении сенсомоторной задачи в индивидуальном (Ind.), соревновательном (Comp.) и кооперативном (Coop.) условиях деятельности в диадах. + – $p < 0.05$, ++ – $p < 0.01$, +++ – $p < 0.001$, ** – $p < 0.01$, *** – $p < 0.001$.

У мужчин вариабельность интегральной амплитуды ЭМГ достоверно различалась между всеми контекстами деятельности ($Fr(120, 2) = 8.75; p < 0.05$, рис. 3а), значимо увеличиваясь в совместных условиях, особенно при кооперации относительно индивидуального тренинга ($p' < 0.05$). При этом вариабельность суммарной мощности спектра у них значимо не различалась между контекстами деятельности (рис. 3б).

У женщин в совместных условиях деятельности наблюдались противоположные по сравнению с мужчинами изменения, а именно – достоверное снижение вариабельности интегральной амплитуды ($Fr(124, 2) = 12.6; p < 0.01$, рис. 3а) и суммарной спектральной мощности ЭМГ ($Fr(124, 2) = 11.6; p < 0.01$, рис. 3б.).

Обнаружено влияние социальных контекстов на Ст. Откл. показателей частоты спектра ЭМГ у всех испытуемых. Так, показано увеличение вариабельности средней частоты ЭМГ (рис. 4а) в совместных контекстах деятельности у женщин ($Fr(124, 2) = 15.7, p < 0.001$) и мужчин ($Fr(120, 2) = 5.22, p = 0.07$). Обнаружено повышение Ст. Откл. этого показателя относительно индивидуальных условий деятельности у женщин при соревновании ($p' < 0.05$) и кооперации ($p' < 0.001$). У мужчин в совместных контекстах деятельности отмечено увеличение вариабельности медианной частоты спектра ЭМГ ($Fr(120, 2) = 9.12, p < 0.01$; рис. 4б). Достоверно различались Ст. Откл. Median F у мужчин при соревновании и кооперации относительно индивидуального этапа ($p' < 0.05$).

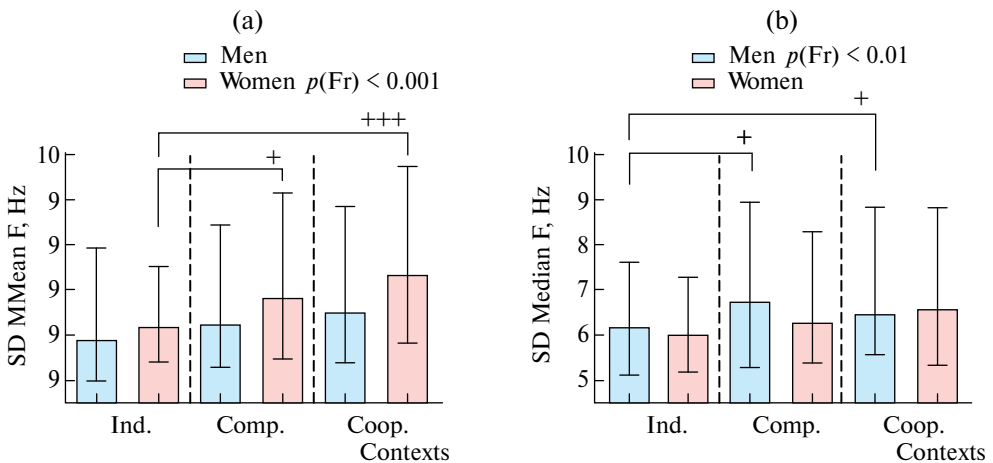


Рис. 4. Динамика Ст. Откл. средней (а) и медианной (б) частот спектра ЭМГ в группах мужчин и женщин при выполнении сенсомоторных тренингов в индивидуальном (Ind.), соревновательном (Comp.) и кооперативном (Coop.) условиях деятельности в диадах. + – $p < 0.05$, +++ – $p < 0.001$.

Результаты корреляционного анализа взаимосвязей результативности и характеристик ЭМГ испытуемых обоего пола в различных условиях социальных взаимодействий представлены в табл. 3 и на рис. 5.

У мужчин в индивидуальных и соревновательных условиях деятельности не выявлено достоверных взаимосвязей между показателями результативности и средними значениями амплитудно-спектральных характеристик ЭМГ в процессе сенсомоторных тренингов. Обнаружены отрицательные корреляции результативности мужчин в условиях кооперации со значениями средней и суммарной мощности спектра ЭМГ (рис. 5а3). У женщин в индивидуальном и кооперативном контекстах найдены положительные корреляции результативности тренингов со средними значениями частотных показателей ЭМГ, отрицательные – с амплитудой, средней и суммарной мощностью

Таблица 3. Коэффициенты корреляции между результативностью выполнения сенсомоторных тренировок и средними значениями, стандартными отклонениями амплитудно-спектральных показателей ЭМГ в разных условиях деятельности мужчин (М) и женщин (Ж) в диадах

Показатели ЭМГ		Результативность в разных социальных условиях тренировок (Т%, “Отлично”), коэффициенты корреляции по Спирмену, <i>p</i> – уровень значимости					
		индивидуально		соревнование		кооперация	
		М	Ж	М	Ж	М	Ж
Max iEMG	Среднее	–	–0.37 <i>p</i> < 0.001	–	–	–	–0.22 <i>p</i> < 0.05
	Ст. Откл.	–0.43 <i>p</i> < 0.001	0.64 <i>p</i> < 0.001	–0.47 <i>p</i> < 0.001	–0.45 <i>p</i> < 0.001	–0.54 <i>p</i> < 0.001	–0.6 <i>p</i> < 0.001
Mean F	Среднее	–	0.26 <i>p</i> < 0.01	–	0.19 <i>p</i> < 0.05	–	0.29 <i>p</i> < 0.001
	Ст. Откл.	–0.54 <i>p</i> < 0.001	–0.21 <i>p</i> < 0.05	–0.54 <i>p</i> < 0.001	–0.44 <i>p</i> < 0.001	–0.38 <i>p</i> < 0.001	–0.44 <i>p</i> < 0.001
Median F	Среднее	–	0.25 <i>p</i> < 0.01	–	0.2 <i>p</i> < 0.05	–	0.36 <i>p</i> < 0.001
	Ст. Откл.	–0.48 <i>p</i> < 0.001	–	–0.48 <i>p</i> < 0.001	–0.23 <i>p</i> < 0.01	–0.29 <i>p</i> < 0.001	–
Peak F	Среднее	–	0.2 <i>p</i> < 0.05	–	–	–	0.21 <i>p</i> < 0.05
	Ст. Откл.	–	0.23 <i>p</i> < 0.01	–	0.15 <i>p</i> = 0.09	–	0.24 <i>p</i> < 0.01
Mean P	Среднее	–	–0.43 <i>p</i> < 0.001	–	–	–0.15 <i>p</i> = 0.08	–0.26 <i>p</i> < 0.01
	Ст. Откл.	–0.33 <i>p</i> < 0.001	–0.57 <i>p</i> < 0.001	–0.37 <i>p</i> < 0.001	–0.37 <i>p</i> < 0.001	–0.46 <i>p</i> < 0.001	–0.53 <i>p</i> < 0.001
Total P	Среднее	–	–0.41 <i>p</i> < 0.001	–	–	–0.15 <i>p</i> = 0.08	–0.26 <i>p</i> < 0.01
	Ст. Откл.	–0.3 <i>p</i> < 0.001	–0.57 <i>p</i> < 0.001	–0.37 <i>p</i> < 0.001	–0.37 <i>p</i> < 0.001	–0.46 <i>p</i> < 0.001	–0.37 <i>p</i> < 0.001

Примечание. Представлены коэффициенты корреляции по Спирмену с указанием их достоверности *p*.

спектра (рис. 5а1, а3). При соревновании у женщин обнаружены положительные взаимосвязи результативности только со средней и медианной частотами ЭМГ (рис. 5а2).

У испытуемых обоих полов во всех контекстах сенсомоторной деятельности наблюдались множественные отрицательные корреляции между результативностью и вариабельностью значений максимальной интегральной амплитуды, частоты и мощности спектральной функции ЭМГ (рис. 5б1–б3). Кроме этих отрицательных корреляций, у женщин обнаружена положительная взаимосвязь результативности сенсомоторных тренировок во всех контекстах деятельности с вариабельностью пиковой частоты спектра ЭМГ.

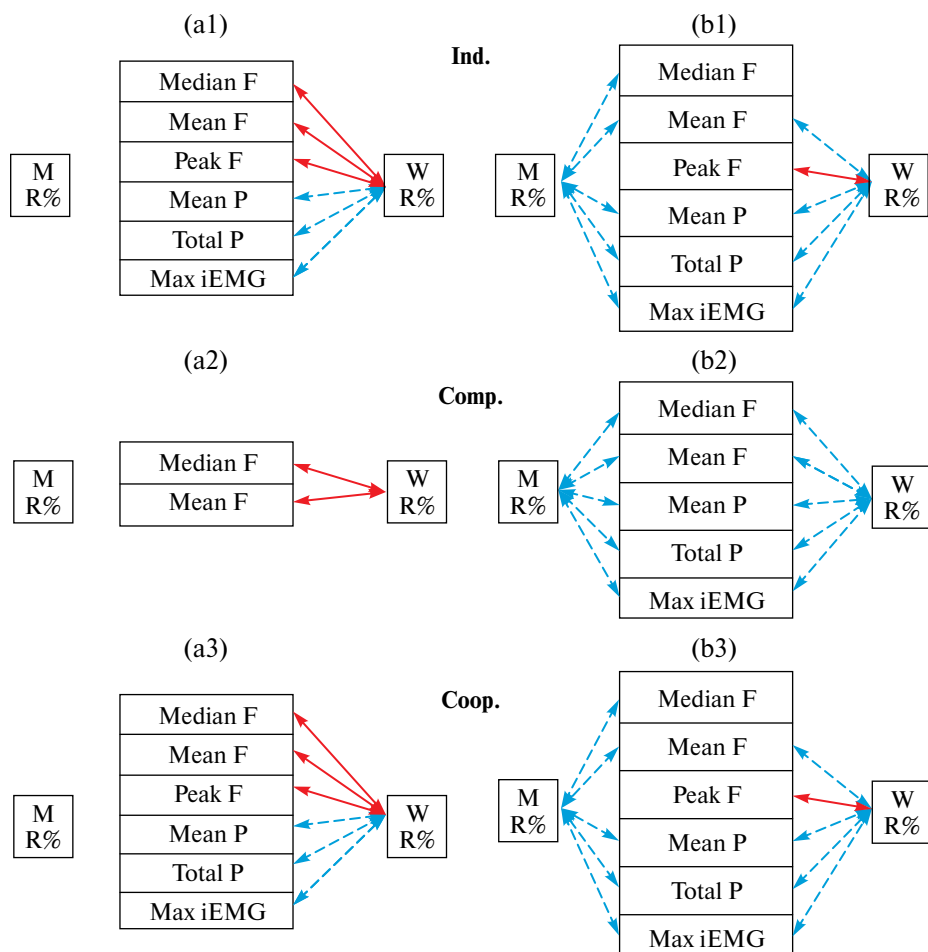


Рис. 5. Плеяды корреляционных взаимосвязей средних значений (левый ряд: a1, a2 и a3), стандартных отклонений (правый ряд: b1, b2 и b3) амплитудных и спектральных характеристик ЭМГ с результативностью (R%) мужчин (M) и женщин (W) при выполнении сенсомоторных тренировок в индивидуальных (Ind.), соревновательных (Comp.) и кооперативных (Coop.) условиях деятельности в диадах. Красные сплошные линии – положительные корреляции, синие пунктирные линии – отрицательные.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Целью данного исследования было изучение зависимости показателей ЭМГ испытуемых при выполнении сенсомоторной задачи от пола и социальных условий деятельности в диадах. Нами выявлено, что женщины характеризовались более высокой средней частотой ЭМГ при индивидуальной сенсомоторной деятельности, чем мужчины. В совместных условиях деятельности у женщин наблюдался рост данного показателя. Известно, что при росте силы сокращения отмечается ускорение мышечной проводимости, которая определяется повышением показателей средней и медианной частоты ЭМГ [15]. Поскольку существует линейная зависимость между средней частотой спектра ЭМГ и скоростью проводимости мышечных волокон [16], это может свидетельствовать о более высоких уровнях мышечной проводимости у женщин во всех контекстах сенсомоторных тренировок.

В нашем исследовании показано, что в совместных условиях деятельности у женщин наблюдается снижение амплитуды и мощности спектра ЭМГ, в отличие от мужчин, у которых данные показатели не менялись или увеличивались. Рост показателей спектральной мощности ЭМГ объясняется рекрутированием дополнительных двигательных единиц, состоящих из более крупных мышечных волокон с более высокой проводимостью [15]. В некоторых работах продемонстрировано, что направленность изменений амплитуды, частоты и мощности спектра ЭМГ зависит от типа задачи и необходимого уровня мышечной активности [17, 18]. Изменения значений максимальной амплитуды ЭМГ в последовательных тренингах могут отражать когнитивные аспекты управления, например зрительно-моторную адаптацию [19].

Снижение спектральных показателей при изометрических сокращениях, как правило, связано с мышечной усталостью. Существует множество научных свидетельств меньшей утомляемости женщин во время низко- и среднеинтенсивной продолжительной мышечной активности [20–22]. Факторы, обуславливающие половые различия утомляемости, делятся на три основных категории: 1) различия в метаболизме скелетных мышц и их сократительных свойствах; 2) особенности кровоснабжения мышц; в) различия паттернов нервно-мышечной активации в ходе выполнения упражнений [20]. Мы предполагаем, что, помимо вышеперечисленных причин, изменения показателей произвольной мышечной активации испытуемых могут зависеть от уровней мотивации субъектов и социального стресса, связанных с условиями взаимодействий. Показано, что стрессовые факторы могут приводить к повышенной утомляемости людей и, как следствие, снижают эффективность выполнения двигательных задач [23]. В то же время в исследовании Hussain с соавт. [12] показано, что когнитивный стресс (также обозначаемый как умственный стресс, или умственная нагрузка) способен улучшить выносливость субъектов при работе в определенном диапазоне интенсивности. Данный феномен объясняется снижением способности человека воспринимать физическое утомление из-за того, что когнитивная деятельность приводит к смещению фокуса внимания от ощущения собственной усталости. Кроме того, есть данные о том, что особенности контекстуальных факторов имеют неодинаковое значение для мужчин и женщин. Так, в работе Fischer с соавт. [24] отмечалось, что в образовательной среде условия соревнования у мальчиков повышали успешность в задачах на ловкость, а у девочек снижали результативность. Подобные различия могут быть объяснены более выраженной конкурентной мотивацией у мужчин, чем у женщин (последние характеризуются большей склонностью к сотрудничеству и направленностью на установление позитивных межличностных отношений) [25, 26].

Проведенный нами сравнительный анализ вариабельности амплитудно-спектральных характеристик ЭМГ в разных условиях социальных взаимодействий выявил ряд особенностей их изменений у мужчин и женщин. У испытуемых обоих полов происходило увеличение изменчивости частоты спектра ЭМГ в совместных контекстах сенсомоторной деятельности. Обнаружен разнонаправленный характер изменений вариабельности интегральной амплитуды и суммарной мощности спектра ЭМГ в совместных контекстах деятельности в моногендерных диадах мужчин и женщин. У лиц мужского пола вариабельность амплитуды ЭМГ увеличивалась в совместных условиях, особенно при кооперации относительно индивидуального тренинга, а у женщин наблюдалось снижение изменчивости амплитуды и суммарной мощности спектра (у мужчин вариабельность суммарной мощности не различалась между контекстами).

В научной литературе анализ вариабельности параметров движения часто используется для выявления признаков утомления. В исследовании D'Emanuele с соавт. [27] показано, что замедление скорости сокращения мышц, обычно наблюдаемое в состоянии усталости, способно ухудшить контроль силы из-за более медленных

корректировок вблизи целевого уровня мышечного напряжения. Изменчивость силы мышечных сокращений определяется нейронной активностью и периферическими факторами, такими как механические свойства мышечно-сухожильного блока, а также размер и архитектура мышцы [28].

Нами показано, что вариабельность большинства показателей ЭМГ как у мужчин, так и у женщин отрицательно взаимосвязана со значениями результативности сенсомоторной деятельности. Известно, что изменчивость играет функциональную и адаптивную роль, посредством которой компоненты системы самоорганизуются для достижения результатов действия [29]. Согласно теории оптимальной вариабельности движения (*Optimal Movement Variability' theory*), изменчивость двигательных параметров отражает адаптивность базовой системы управления [30]. Чрезмерное увеличение вариабельности показателей движения делает систему более шумной и непредсказуемой, что приводит к снижению адаптивности субъектов к стрессовым факторам. По данным Grabiner с соавт. [31], когнитивная нагрузка, связанная со сложностью задач, усиливает нейромоторный шум, который приводит к большей изменчивости кинематики движений. Под “шумом” понимаются случайные нарушения или искажения сигналов, препятствующие передаче информации. Нейромоторный шум обнаруживается на всех этапах сенсомоторного цикла, начиная от молекулярного уровня (шум каналов в мембранах и биохимический шум в синапсах) и заканчивая макроскопическим уровнем, который включает нейроны, нейронные сети, мышечные волокна и поведение. Шум имеет прямые поведенческие последствия: от установления порогов восприятия до влияния на точность движений и их изменчивость от пробы к пробе [32]. Показано, что периферическая мышечная усталость и связанные с ней метаболические изменения также увеличивают нейромоторный шум [33]. Следовательно, изменчивость показателей ЭМГ зависит как от уровня утомления мышц, так и от выраженности когнитивной нагрузки у субъектов в ходе выполнения задания [12].

В индивидуальных условиях сенсомоторной деятельности половых различий вариабельности характеристик ЭМГ не выявлено, а в совместных контекстах у женщин изменчивость электромиографических показателей была значимо ниже, чем у мужчин. Данные результаты, вероятно, свидетельствуют о большей способности женщин регулировать уровень мышечного напряжения в процессе сенсомоторных тренировок в условиях повышенной эмоциональной значимости – в соревновательном и кооперативном контекстах. Выявленные закономерности находят подтверждение в работе Kavanagh с соавт. [34], обнаруживших, что в группе мужчин наблюдалась прогрессивно более низкая устойчивость параметров ЭМГ при выполнении длительных субмаксимальных изометрических сокращений, чем у женщин. Аналогичные результаты были получены Svendsen и Madeleine [35], установивших, что у мужчин по сравнению с женщинами была значительно более высокая нерегулярность поддержания изометрической силы при 20% от максимального произвольного сокращения. Авторы связывают полученные результаты с повышением мышечной активности мужчин в ходе выполнения упражнения, которое сопровождается дополнительным вовлечением более крупных двигательных единиц и изменениями в частоте их включения. Оба этих механизма способны оказывать влияние на характеристики устойчивости выполнения задачи и соответственно на величину вариабельности показателей ЭМГ.

Другие причины, определяющие обнаруженные нами половые различия, могут заключаться в анатомических особенностях мышц участников исследования (таких, как толщина подкожных тканей, расположение мышечных волокон и т.д.), а также в различиях паттернов стабилизации деятельности [36, 37]. Например, вследствие того, что у лиц мужского пола, как правило, подкожно-жировой слой меньше, чем у женщин, ЭМГ-активность у мужчин при низких силах сокращения приобретает “пульсирующий” характер. Для женщин характерен более сглаженный “непрерывный” ЭМГ-сигнал с меньшей амплитудой [37].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При исследовании ЭМГ-характеристик сенсомоторной деятельности моногендерных диад испытуемых в разных социальных условиях выявлены следующие половые различия: на индивидуальном этапе выше частотные характеристики ЭМГ у женщин, а при соревновании и кооперации – больше амплитуда и мощность спектра ЭМГ у мужчин. Динамика показателей ЭМГ у женщин, в отличие от мужчин, сопряжена с изменением социальных условий деятельности. Вариабельность частотных характеристик спектра ЭМГ возрастала и у мужчин, и у женщин в совместных условиях деятельности. Обнаружен противоположный характер изменений вариабельности интегральной амплитуды и суммарной мощности спектра ЭМГ в совместных контекстах деятельности по сравнению с индивидуальным: рост этих показателей у мужчин, но снижение у женщин.

Выявлены разные плеяды взаимосвязей результативности с амплитудными и спектральными характеристиками ЭМГ в процессе сенсомоторных тренингов в зависимости от пола и социальных условий деятельности. У женщин результативность тренингов коррелировала положительно со средними показателями частоты ЭМГ во всех контекстах деятельности, отрицательно – с амплитудой и мощностью спектра ЭМГ при кооперации. Результативность мужчин и женщин во всех условиях сенсомоторной деятельности отрицательно коррелировала с вариабельностью характеристик ЭМГ.

Результаты исследования вносят вклад в понимание особенностей реализации произвольных движений человека при совместном выполнении сенсомоторных заданий в различных условиях социальных взаимодействий. Полученные данные могут лечь в основу выявления прогностических психофизиологических критериев эффективности межличностной моторной координации для разработки методик подбора успешно действующих команд, программ тренировок в спорте, оптимизации образовательных и производственных процессов.

БЛАГОДАРНОСТИ

Авторы выражают глубокую благодарность О. И. Ермаковой, О. М. Зотовой, М. А. Марковцевой, Н. Ю. Трифоновой за помощь в организации и проведении обследований, включая набор испытуемых.

ВКЛАДЫ АВТОРОВ

Идея работы и планирование эксперимента (Е. П. М.), сбор данных (Е. П. М., Е. С. Г.), обработка данных (Е. П. М., Е. С. Г.), написание и редактирование манускрипта (Е. С. Г., Е. П. М., С. С. П.).

ИСТОЧНИКИ ФИНАНСИРОВАНИЯ

Исследование проведено в рамках государственного задания. Дополнительных грантов на проведение или руководство данным исследованием получено не было.

СОБЛЮЖДЕНИЕ ЭТИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

Все процедуры, выполненные в исследованиях с участием людей, соответствуют этическим стандартам национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующим изменениям или сопоставимым нормам этики. От каждого из включенных в исследование участников было получено информированное добровольное согласие. Исследование одобрено Межвузовским комитетом по этике при Ассоциации медицинских и фармацевтических вузов (Москва), (протокол № 3 от 17.02.2022 г., получен в отделе организации научных проектов и исследовательских программ ФГБОУ ВО МГМСУ им. А.И. Евдокимова).

КОНФЛИКТ ИНТЕРЕСОВ

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Sebanz N, Bekkering H, Knoblich G* (2006) Joint action: Bodies and minds moving together. *Trends Cognit Sci* 10(2): 70–76.
<https://doi.org/10.1016/j.tics.2005.12.009>
2. *Белюсова АК, Качан ЮМ* (2024) Функционально-ролевое распределение студентов при совместном решении задач разного типа. *Вестн Удмуртск универ Сер. Филос Психол Педагог* 34(1): 26–37. [*Belousova AK, Kachan YuM* (2024) Functional-role distribution of students in the joint solution of problems of different types. *Vestn Udmurtsk Univer [Udmurt State Univer] Series Philosophy Psychology Pedagogy* 34(1): 26–37. (In Russ)].
<https://doi.org/10.35634/2412-9550-2024-34-1-26-37>
3. *Kaefer A, Chiviawsky S* (2022) Cooperation enhances motor learning. *Human Movement Sci* 85: 102978.
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2022.102978>
4. *Wongvorachan T* (2023) The Impact of Classroom Competition and Cooperation to Student Academic Performance.
<https://doi.org/10.31234/osf.io/7vugd>
5. *Fischer P, Camba L, Ooi SH, Chevalier N* (2018) Supporting cognitive control through competition and cooperation in childhood. *J Exp Child Psychol* 173: 28–40.
<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.03.011>
6. *Banks GC, Whelpley CE, Crawford ER, O'Boyle EH, Kepes S* (2021) Getting along to get ahead: The role of social context in tournament promotion and reward systems. *PLoS One* 16(9): e0257389.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0257389>
7. *Nebel S, Schneider S, Rey GD* (2016) Computers in Human Behavior From duels to classroom competition: Social competition and learning in educational videogames within different group sizes. *Comput Human Behav* 55: 384–398.
<http://doi.org/10.1016/j.chb.2015.09.035>
8. *Koban L, Pourtois G, Bediou B, Vuilleumier P* (2012) Effects of social context and predictive relevance on action outcome monitoring. *Cognit Affectiv Behav Neurosci* 12(3): 460–478.
<https://doi.org/10.3758/s13415-012-0091-0>
9. *Vanutelli ME, Gatti L, Angioletti L, Balconi M* (2018) May the Best Joint-Actions Win: Physiological Linkage During Competition. *Appl Psychophysiol Biofeedback* 43(3): 227–237.
<https://doi.org/10.1007/s10484-018-9402-8>
10. *Krishnan-Barman S, Forbes PAG, Hamilton AF de C* (2017) How can the study of action kinematics inform our understanding of human social interaction? *Neuropsychologia* 105: 101–110.
<https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2017.01.018>
11. *Мескова ЕС, Муртазина ЕП, Гинзбург-Шик ЮА* (2022) Межличностная координация: системные аспекты и социально-психофизиологические факторы (обзор). *Психол Психофизиол* 15(3): 91–102. [*Meskova ES, Murtazina EP, Ginzburg-Shik YuA* (2022) Joint action coordination: Systemic aspects and socio-psychophysiological factors (review). *Psychol Psychophysiol* 15(3): 91–102. (In Russ)].
<https://doi.org/10.14529/jpps220309>
12. *Hussain J, Sundaraj K, Subramaniam ID* (2020) Cognitive stress changes the attributes of the three heads of the triceps brachii during muscle fatigue. *PLoS One* 15(1): e0228089.
<https://doi.org/10.1371/journal.pone.0228089>
13. *Tamburro G, Fiedler P, De Fano A, Raeisi K, Khazaei M, Vaquero L, Bruña R, Oppermann H, Bertollo M, Filho E, Zappasodi F, Comani S* (2023) An ecological study protocol for the multimodal investigation of the neurophysiological underpinnings of dyadic joint action. *Front Human Neurosci* 17: 1305331.
<https://doi.org/10.3389/fnhum.2023.1305331>

14. *Muceli S, Merletti R* (2024) Tutorial. Frequency analysis of the surface EMG signal: Best practices. *J Electromyograph Kinesiol* 79: 102937.
<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2024.102937>
15. *Rodrigues SB, de Faria LP, Monteiro AM, Lima JL, Barbosa TM, Duarte JA* (2022) EMG signal processing for the study of localized muscle fatigue-pilot study to explore the applicability of a novel method. *Int J Environment Res Public Health* 19(20): 13270.
<https://doi.org/10.3390/ijerph192013270>
16. *Arendt-Nielsen L, Mills KR* (1985) The relationship between mean power frequency of the EMG spectrum and muscle fibre conduction velocity. *Electroencephalograph Clin Neurophysiol* 60(2): 130–134.
[https://doi.org/10.1016/0013-4694\(85\)90019-7](https://doi.org/10.1016/0013-4694(85)90019-7)
17. *Allison GT, Fujiwara T* (2002) The relationship between EMG median frequency and low frequency band amplitude changes at different levels of muscle capacity. *Clin Biomechan (Bristol, Avon)* 17(6): 464–469.
[https://doi.org/10.1016/s0268-0033\(02\)00033-5](https://doi.org/10.1016/s0268-0033(02)00033-5)
18. *Dideriksen JL, Farina D* (2019) Amplitude cancellation influences the association between frequency components in the neural drive to muscle and the rectified EMG signal. *PLoS Computat Biol* 15(5): e1006985.
<https://doi.org/10.1371/journal.pcbi.1006985>
19. *Джелдубаева ЭР, Бирюкова ЕА, Махин СА, Бабанов НД, Чуян ЕН, Кубряк ОВ* (2020) Максимальная амплитуда электромиограмм сгибателей и разгибателей рук в серии сеансов управления силовым джойстиком у здоровых добровольцев. *Рос физиол журн им ИМ Сеченова* 106(1): 44–54. [*Dzheldubaeva ER, Biryukova EA, Makhin SA, Babanov ND, Chuyan EN, Kubryak OV* (2020) Electromyogram Maximum Amplitudes in Arm Flexors and Extensors in Healthy Volunteers in a Series of the Power Joystick Control Training Sessions. *Russ J Physiol* 106(1): 44–54. (In Russ)].
<https://doi.org/10.31857/S0869813920010069>
20. *Jodoin HL, Hinks A, Roussel OP, Contento VS, Dalton BH, Power GA* (2023) Eccentric exercise-induced muscle weakness abolishes sex differences in fatigability during sustained submaximal isometric contractions. *J Sport Health Sci* 12(4): 523–533.
<https://doi.org/10.1016/j.jshs.2023.02.001>
21. *Metcalfe E, Hagstrom AD, Marshall PW* (2019). Trained females exhibit less fatigability than trained males after a heavy knee extensor resistance exercise session. *Eur J Appl Physiol* 119(1): 181–190.
<https://doi.org/10.1007/s00421-018-4013-x>
22. *Yoon T, Schlinder Delap B, Griffith EE, Hunter SK* (2007) Mechanisms of fatigue differ after low and high force fatiguing contractions in men and women. *Muscle & Nerve: Offic J Am Associat Electrodiagn Med* 36(4): 515–524.
<https://doi.org/10.1002/mus.20844>
23. *Rhee J, Dillardas T, Nzoiwu M, Mehta RK* (2017) Effect of Social Stress on Motor Function in Older Adults: An fNIRS Investigation. *Proc Human Factors Ergonom Soc Annu Meet* 61(1): 30–31.
<https://doi.org/10.1177/1541931213601502>
24. *Fischer P, Camba L, Ooi SH, Chevalier N* (2018) Supporting cognitive control through competition and cooperation in childhood. *J Exp Child Psychol* 173: 28–40.
<https://doi.org/10.1016/j.jecp.2018.03.011>
25. *Ofole NM* (2022) Social loafing among learner support staff for open and distance education programmes in south-western Nigeria: The imperative for counselling intervention. *Open Learn: J Open Distance and e-Learn* 37(1): 84–101.
<https://doi.org/10.1080/02680513.2020.1736020>
26. *Yang D, Tu CC, He TB* (2024) Effect of Conscientiousness on Social Loafing Among Male and Female Chinese University Students. *Asia-Pacific Educat Res* 33(2): 459–469.
<https://doi.org/10.1007/s40299-023-00742-0>
27. *D'Emanuele S, Boccia G, Angius L, Hayman O, Goodall S, Schena F, Tarperi C* (2024) Reduced rate of force development under fatigued conditions is associated to the decline in force complexity in adult males. *Eur J Appl Physiol* 124(12): 3583–3591.
<https://doi.org/10.1007/s00421-024-05561-9>
28. *Raffalt PC, Yentes JM, Spedden ME* (2023) Isometric force complexity may not fully originate from the nervous system. *Human Movement Sci* 90: 103111.
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2023.103111>
29. *Garcia-Aguilar F, Caballero C, Sabido R, Moreno FJ* (2022) The use of non-linear tools to analyze the variability of force production as an index of fatigue: A systematic review. *Front Physiol* 13: 1074652.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2022.1074652>

30. *Stergiou N, Decker LM* (2011) Human Movement Variability, Nonlinear Dynamics, and Pathology: Is There a Connection? *Human Movement Sci* 30(5): 869–888.
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2011.06.002>
31. *Grabiner MD, Marone JR, Wyatt M, Sessoms P, Kaufman KR* (2018) Performance of an attention-demanding task during treadmill walking shifts the noise qualities of step-to-step variation in step width. *Gait & Posture* 63: 154–158.
<https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2018.04.041>
32. *Faisal AA, Selen LPJ, Wolpert DM* (2008) Noise in the nervous system. *Nature Rev Neurosci* 9(4): 292–303.
<https://doi.org/10.1038/nrn2258>
33. *Taylor JL, Amann M, Duchateau J, Meeusen R, Rice CL* (2016) Neural contributions to muscle fatigue: From the brain to the muscle and back again. *Med Sci Sports Exercise* 48: 2294–2306.
<https://doi.org/10.1249/MSS.0000000000000923>
34. *Kavanagh JJ, Smith KA, Minahan CL* (2020) Sex differences in muscle activity emerge during sustained low-intensity contractions but not during intermittent low-intensity contractions. *Physiol Rep* 8(7): e14398.
<https://doi.org/10.14814/phy2.14398>
35. *Svendsen JH, Madeleine P* (2010) Amount and structure of force variability during short, ramp and sustained contractions in males and females. *Human Movement Sci* 29(1): 35–47.
<https://doi.org/10.1016/j.humov.2009.09.001>
36. *Renda E, Yang C, Côté JN* (2022) Sex-specific myoelectric manifestations of localized fatigue during a multi-joint repetitive task. *J Electromyograph Kinesiol* 67: 102717.
<https://doi.org/10.1016/j.jelekin.2022.102717>
37. *Rodriguez-Falces J, Malanda A, Mariscal C, Navallas J* (2024) The filling factor of the sEMG signal at low contraction forces in the quadriceps muscles is influenced by the thickness of the subcutaneous layer. *Front Physiol* 14: 1298317.
<https://doi.org/10.3389/fphys.2023.1298317>

Comparative Analysis of Electromyographic Indicators of Subjects During Sensorimotor Training in Various Social Conditions of Activity in Dyads

E. S. Galushka^{a,*}, E. P. Murtazina^a, and S. S. Pertsov^a

*^aFederal Research Center for Innovator and Emerging Biomedical and Pharmaceutical Technologies,
Moscow, Russia*

**e-mail: galushka_es@academpharm.ru*

The objective is to analyze the amplitude-spectral indicators of electromyograms and their relationships with the performance of subjects during sensorimotor training in different social conditions of activity in dyads. The study was conducted on 256 subjects. As a model of activity, the sensorimotor training “Columns” of the software and hardware complex “BOS-Kinesis” (LTD “Neurotech”, Taganrog) was used with biological feedback from electromyographic signals from the radial flexor of the wrist (lat. flexor carpi radialis) of the leading hand of the subjects performing the task in 3 social contexts: individual, competitive and cooperative. As a result of the study of EMG characteristics of the sensorimotor activity of subjects in different social conditions, the following gender differences were revealed: at the individual stage, women have higher frequency characteristics of EMG, and men have higher amplitude and power of the EMG spectrum at the stages of competition and cooperation. The dynamics of EMG characteristics in women, unlike men, is associated with changes in social activity conditions. The variability of the frequency characteristics of the EMG spectrum increased in both men and women under joint activity conditions. Opposite directions of changes in the variability of the integral amplitude and total power of the EMG spectrum in joint activity contexts compared to individual ones were found: an increase in these indicators in men, but a decrease in women. In the female sample, the training performance correlated positively with the average EMG frequency values in all activity contexts, and negatively with the amplitude and power of the EMG spectrum during cooperation. The performance of men and women in all sensorimotor activity conditions correlated negatively with the variability of EMG characteristics. The results of the study contribute to the understanding of the features of the implementation of voluntary human movements when performing sensorimotor tasks in various conditions of social interactions. The obtained data can form the basis for identifying prognostic criteria for the effectiveness of joint sensorimotor activity to create methods for selecting successful teams and optimizing production processes.

Keywords: effectiveness of sensorimotor activity, social context, competition, cooperation, amplitude, frequency, power of the electromyogram spectrum