

Электрэнцефалографические предикторы успешности стрелков из лука

Поликанова И.С.¹, канд. псих. наук, irinapolikanova@mail.ru

Леонов С.В.¹, канд. псих. наук, svleonov@gmail.com

Семенов Ю.И.², ура_semen1109@mail.ru

Коробейникова Е.Ю.³, ekaterinayk@rambler.ru

*1 Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова,
факультет психологии, Москва*

2 Академия наук Республики Саха (Якутия), Якутск

3 ЦСТиСК Москомспорта

Аннотация. Настоящее исследование направлено на изучение динамики электроэнцефалографических показателей у профессиональных лучников во время стрельбы, а также во время выполнения упражнений, имитирующих процесс стрельбы (представление стрельбы, имитация, наведение на мишень без выстрела). Результаты показали, что наиболее значимые изменения в ЭЭГ наблюдаются в диапазонах альфа-ритма и высокочастотного бета-ритма. Наиболее выраженные изменения ЭЭГ наблюдаются во время стрельбы, а также при ее имитации. Показано, что при представлении стрелковых движений более эффективной является стратегия представления зрительных образов по сравнению с телесными.

Ключевые слова: стрельба из лука, ЭЭГ, образы, представление, ритмы мозга, альфа-ритм, бета-ритм

Введение

Стрельба из лука является видом спорта, в котором с помощью лука производится поражение стрелами мишеней на различные дистанции. Данный вид спорта предъявляет повышенные требования к особенностям внимания и выдержке, и в первую очередь характеризуется очень точным выполнением всех элементов двигательного действия.

Стрельба из лука является хорошей моделью для исследования мозговой активности в спорте, поскольку период прицеливания обычно происходит с минимальными движениями и предельной концентрации на цели, что позволяет избежать артефактов движения и записать мозговую активность, связанную с наведением на цель [1-6].

В спортивной психологии также хорошей экспериментальной моделью исследования электрофизиологических параметров у спортсменов является изучение динамики мозговых процессов во время представления спортивных действий. Ряд исследований показали, что при воображении какого-либо действия и при его реальном совершении активируются сходные структуры мозга [7-15].

В частности, в исследованиях с применением позитронно-эмиссионной томографии (ПЭТ) [16] испытуемым нужно было воображать движение джойстика. В это время активировались те же структуры мозга, что и перед непосредственным нажатием этого джойстика. Только финальная стадия собственно реализации действия отличала реальное действие от воображаемого.

Данный факт имеет практическое значение для спорта. Так, многие спортсмены успешно используют идеомоторную тренировку (другие названия – холостой тренаж, ментальная тренировка, тренировка в воображении и т.п.) в своей профессиональной деятельности. Например, биатлонист представляет, как он целится, а потом стреляет, даже не держа в руках винтовку.

Сотрудники Лионского Университета показали, что как при настоящем прицеливании, так и при воображаемом происходят сходные изменения в нервных процессах. Они рассчитали специальный индекс, отражающий сходство изменений нервных процессов при реальном и воображаемом действии. Оказалось, что чем больше это сходство, тем лучше результат реальных выстрелов [17]. Также была показана важность полного представления действия, включая кинестетический и слуховой анализатор, не ограничиваясь только зрительным [18].

Ряд экспериментальных исследований показал интересную динамику альфа-ритма у людей, профессионально занимающихся какой-либо деятельностью. Д.А. Напалков продемонстрировал, что у профессиональных стрелков наблюдается резкая активация альфа-ритма в определенных областях мозга непосредственно перед выстрелом, в отличие от непрофессионалов, у которых происходит общая генерализованная активация головного мозга [19]. Подобная закономерность была описана О.М. Базоновой [20]. Она показала, что у музыкантов уровень музыкально-исполнительского мастерства оказался положительно взаимосвязан с индивидуальной частотой максимального альфа-пика, стабильностью реакции альфа-десинхронизации, шириной альфа-диапазона и другими параметрами альфа ритма.

Хофлер с коллегами [21] была изучена корковая активация в различных областях головного мозга у профессиональных стрелков и новичков во время прицеливания. Профессиональные атлеты продемонстрировали меньшую активацию при прицеливании во всех исследуемых областях коры головного мозга. Кроме того, авторы сравнили корковую активации у обеих групп при решении ими вербальных и пространственных заданий. Результаты не выявили различий в корковой активации между группами.

При исследовании мозговой активности у спортсменов важно понимать, какие мозговые процессы связаны с успешным выполнением того или иного спортивного действия. Профессиональных атлетов в первую очередь отличает высокая слаженность, точность и стабильность выполнения спортивных действий (в том числе при различных условиях среды), уменьшение мышечной активности, и общее уменьшение активности мозга, необходимой для выполнения действия [22]. На основе этих наблюдений была предложена теория экономизации усилий у профессионалов [23-26]. Она получила наибольшее исследование у стрелков [27-28]. На основе изучения мозговой активности стрелков-профессионалов и новичков было выявлено три основных факта. Среди основного, наиболее изученного феномена следует отметить общее увеличение альфа-активности у профессионалов, по сравнению с новичками [21]. Увеличение альфа-активности связывают со снижением корковой активности, и свидетельствует об экономизации нейрональных ресурсов. Другим фактом является более низкая корковая активность при прицеливании у элитных стрелков в левой височной области (в электроде Т3 по сравнению с Т4) по сравнению с новичками. Если сравнить данную активность с состоянием спокойного бодрствования, то у элитных стрелков при прицеливании обнаружится увеличение активности в правой височной области. Третьей особенностью является специфичность изменения паттерна мозговой активности лишь для выполнения той деятельности, которая является профессиональной для спортсмена. Так, для спортсменов-каратистов или гольфистов увеличение альфа-активности наблюдается в моторных областях. У стрелков наблюдается уменьшенная активация в отделах, неспецифичных к зрительно-пространственной задаче. В частности, у стрелков, достигших автоматизма действия, показана синхронность в левой височной области при прицеливании. Таким образом, теория экономизации усилий утверждает не общее снижение мозговой активности при выполнении какого-либо спортивного действия у профессионалов, а снижение активности лишь в областях, не связанных с выполнением действия.

В настоящей работе была предпринята попытка исследовать динамику мозговой активности (альфа-, бета- и тета-ритмов ЭЭГ) профессиональных стрелков из лука (юношеская сборная России) при выполнении выстрела, а также во время выполнения упражнений, имитирующих процесс стрельбы (представление стрельбы, имитация, наведение на мишень без выстрела).

Методы

Испытуемые и методики

В исследовании приняло участие 11 спортсменов юношеской сборной России (КМС и МС, средний возраст 17 лет).

Запись ЭЭГ

Запись ЭЭГ проводилась с помощью 21-канального электроэнцефалографа фирмы «Медиком МТД» в соответствии с международной системой «10-20», устанавливающей точное расположение электродов на скальпе; референтными ушными электродами. Частота квантования – 500 Гц. Электроэнцефалограмму (ЭЭГ) регистрировали от 16 стандартных отведений фронтальных (F), центральных (C), темпоральных (T), париетальных (P) и окципитальных (O) областей обеих гемисфер неокортекса относительно ушных референтных электродов.

Электроэнцефалографическое исследование проводилось по следующей схеме:

- фоновая запись ЭЭГ с открытыми глазами (ФОГ) – 1 минута;
- фоновая запись ЭЭГ с закрытыми глазами (ФЗГ) – 1 минута;
- представление в уме 6 выстрелов из лука – проба «представление»;
- имитация 6 выстрелов без действий с луком (двигательная имитация руками выстрелов) – проба «имитация»;
- 6 выстрелов из лука – проба «выстрелы»;
- прицеливание без выстрела (прицеливание из лука, но без выстрела, при этом атлетам ставилась задача имитировать только движения, представлять выстрел при этом было не нужно) – проба «прицеливание».

Сразу после проведения экспериментальной процедуры проводилась беседа со спортсменами с целью понять, как именно они представляли выстрелы (сделан ли акцент на зрительный образ, на телесный образ, техническое движение или др.).

Непосредственно до эксперимента проводилась контрольная стрельба, которая состояла из двух серий с разных дистанций и проходила на улице в условиях относительно стабильного ветра.

Анализ данных

Для статистического анализа данных использовались пакет Statistica 8 (для Windows, V 8.0, StatSoft). Использован T-test для зависимых выборок, а также критерий Манна-Уитни. Статистически значимые различия смотрелись между частотными показателями в фоне с открытыми глазами (ФОГ) и показателями в каждой из проб (имитация, представление, выстрелы, прицеливание).

Статистический анализ данных проводился для следующих показателей:

- динамика доминирующих частот тета-, альфа-, низкочастотного (НЧ) бета-, высокочастотного (ВЧ) бета-ритмов – сравнение фоновых показателей (открытые глаза) со значениями во время стрельбы, а также каждого из упражнений;

- динамика средних частот тета-, альфа-, низкочастотного (НЧ) бета-, высокочастотного (ВЧ) бета-ритмов – сравнение фоновых показателей (открытые глаза) со значениями во время стрельбы, а также каждого из упражнений;

- значимые различия по динамике доминирующих и средних частот ЭЭГ в зависимости от уровня спортивной результативности. По итогам стрельбы выборка была поделена на группу 1 (показавшие высокие результаты стрельбы) и группу 2 (показавшие более низкие результаты стрельбы).

Для анализа ЭЭГ использовались отрезки фоновой ЭЭГ длительностью 20 секунд с наименьшим содержанием артефактов. Запись ЭЭГ во время выполнения упражнений по стрельбе проводилась с открытыми глазами. Для анализа ЭЭГ во время выполнения заданий также брались 20 секундные отрезки записи ЭЭГ непосредственно перед совершением выстрела или воображаемого выстрела (отдельно для каждого «выстрела»). В пробе

«представление» для анализа ЭЭГ брался один 20 секундный отрезок ЭЭГ с наименьшим количеством артефактов.

Доминирование каждого ритма ЭЭГ распределено по скальпу не равномерно из-за задействованности различных подкорковых структур в генерацию соответствующего ритма, в связи с этим анализ ЭЭГ проводился для каждого выбранного ритма в определенных отведениях согласно литературным данным в левом и в правом полушариях соответственно. Так, анализ тета-ритма проводился для отведений F3, Fz и F4, для альфа-ритма – в отведениях P3, Pz и P4, для бета-ритмов – в отведениях C3, Cz и C4.

Результаты

В таблице 1 представлены результаты контрольной стрельбы, а также стрельбы в экспериментальных сериях с записью ЭЭГ.

Таблица 1. Характеристика испытуемых и результаты контрольной стрельбы, а также стрельбы в экспериментальных сериях

Испытуемые			Результаты контрольной стрельбы			Результаты выстрелов с записью ЭЭГ							Группа (эф-ть стрельбы)
	пол	разряд	1 дист-я	2 дист-я	сумма	1	2	3	4	5	6	Сумма	
1	м	КМС	292	301	593	10	9	8	9	9	8	53	2
2	ж	МС	286	247	533	8	9	10 (X)*	9	10 (X)	8	54	2
3	м	МС	290	276	566	9	10 (X)	9	10	9	10 (X)	57	1
4	ж	МС	253	263	516	9	9	8	8	9	8	51	2
5	м	МС	292	276	568	9	9	10 (X)	10	10	9	57	1
6	м	МС	302	277	579	10 (X)	9	10	10	10 (X)	10	59	1
7	м	МС	289	207	496	9	9	9	9	10	10	56	2
8	м	МС	294	295	589	10	9	9	9	10	10	57	1
9	м	КМС	307	299	606	10 (X)	10 (X)	10 (X)	10	10 (X)	10	60	1
10	м	МС	309	308	617	10 (X)	8	10	9	9	10	56	2
11	м	МС	304	282	593	10 (X)	10 (X)	10	10 (X)	10 (X)	9	59	1

Примечание: *10 (X) - внутренняя область мишени, в центре 10ки

Результаты настоящего исследования показали, что наиболее значимые изменения в ЭЭГ во время выполнения выстрела, а также различных упражнений по стрельбе («представление», «имитация», «выстрел», «прицеливание») наблюдается в диапазонах альфа-ритма (отведения P3 и Pz) и высокочастотного бета-ритма (отведение C3). Важно отметить, что значимые, в том числе статистические, изменения показателей наблюдаются преимущественно в левом полушарии и в меньшей степени – в центральных, тогда как в правом полушарии изменения не наблюдаются (табл. 2). Снижение активации левого полушария связано, согласно литературным данным, с подавлением вербально-аналитической функций во время прицеливания [4, 6, 10].

Альфа-ритм. В диапазоне альфа-ритма наблюдаются выраженное статистически значимое увеличение как для доминирующей, так и для средней частот альфа-ритма для пробы «имитация», а также во время непосредственного выстрела. Во время прицеливания увеличение указанных ритмов наблюдается только во время первого выстрела. Указанные изменения наблюдаются в левом полушарии и в центральных отведениях и практически не наблюдаются в правом полушарии. Во время упражнения «представление» значимых изменений не наблюдается, однако видно небольшое увеличение частоты альфа ритма в левом полушарии.

Высокочастотный бета ритм. В диапазоне высокочастотного бета-ритма наблюдаются выраженное статистически значимое увеличение как для доминирующей, так и для средней частот бета-ритма для всех упражнений по стрельбе, за исключением имитации, т.е. мысленного представления выстрела. Указанное увеличение высокочастотного бета-ритма наблюдается только в левом полушарии.

Проведенная со спортсменами после эксперимента беседа выявила ряд закономерностей. В частности, было показано, что более успешные спортсмены чаще описывают процесс представления наличием четких зрительных образов во всех мысленных процедурах (например - стрела, кончик стрелы, мушка, тяга, выстрел). Тогда как спортсмены, показавшие худшие результаты, чаще характеризовали процесс представления нечеткими зрительными образами, а также более ясными телесными ощущениями.

Статистический анализ различий по динамике доминирующих и средних частот ЭЭГ у группы 1 и группы 2 представлен в таблице 3. Данные результаты демонстрируют более высокие значения доминирующей и средней частоты альфа-ритма у группы, показавшей более высокие результаты стрельбы. В бета-диапазоне значимых различий между группами не обнаружено.

Таблица 2. Динамика альфа- и бета-ритмов во время выполнения выстрелов, а также упражнений по стрельбе («представление», «имитация», «прицеливание»)

ЭЭГ ритм (ответные)	Частота	ФОГ	Представление	Имитация (№ выстрела)						Стрельба (№ выстрела)						Прицел (№ выстрела)		
				1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3
Альфа (P3)	дЧ	9,4	10,1	11,37*	11,65**	11,81**	10,78*	11,73*	11,40*	11,47**	11,49*	11,56*	12,44*	11,63*	11,25*	11,73*	11,39	10,98
Альфа (Pz)	сЧ	9,96	10,51	11,38**	11,68**	11,67*	11,20	11,48*	11,63*	11,85**	11,20**	11,32*	11,62*	11,17*	11,25	11,68*	11,36	11,38
Альфа (Pz)	дЧ	9,7	10,51	11,37*	11,38**	11,41*	11,18*	11,52*	11,56*	12,11**	11,13*	11,29**	11,50**	11,17*	11,26*	11,50*	11,32	11,46
Бета (C3)	сЧ	24,76	25,13	26,55**	26,37**	25,07	26,20**	26,27*	26,42**	11,92**	11,43*	11,63**	12,82**	11,91*	11,68*	11,68	11,64	11,92
Бета (C3)	дЧ	22,2	21,96	26,24*	24,74*	23,91	25,21*	24,46	25,94*	24,54*	25,92*	26,00**	24,80*	24,17	25,21*	26,51**	26,58**	27,04**
Бета (C3)	сЧ	24,76	25,13	26,55**	26,37**	25,07	26,20**	26,27*	26,42**	25,73*	25,92**	26,21**	26,31**	25,84	26,49**	26,69**	26,41**	26,26*

* статистические различия $p \leq 0,05$

** статистические различия $p \leq 0,01$

Примечание: ФОГ – фоновая запись с открытыми глазами, ДЧ – доминирующая частота; СЧ – средняя частота

Таблица 3. Значимые различия у группы 1, показавшей более высокие результаты стрельбы, и группы 2, показавшей более низкие результаты стрельбы, по динамике альфа- и бета-ритмов во время выполнения выстрелов, а также упражнений по стрельбе («представление», «имитация», «прицеливание»)

ЭЭГ ритм (ответные)	Частота	Результаты стрельбы	ФОГ	Представле ние	Имитация (№ выстрела)						Стрельба (№ выстрела)						Прицел (№ выстрела)		
					1	2	3	4	5	6	1	2	3	4	5	6	1	2	3
Альфа (P3)	ДЧ	группа 1	10.23	9.69	12.45	12.65	12.80	11.90	12.15	12.31	13.02	12.41	11.83	13.10	12.75	12.06	12.95	12.05	11.56
		группа 2	8.70	10.46	10.47	10.81*	10.99*	9.85	11.31	10.67	10.18**	10.73	11.34	11.88	10.51	10.44	9.70**	10.28	10.20
	СЧ	группа 1	10.58	10.58	11.30	12.10	12.15	11.45	11.60	11.94	11.98	11.51	11.43	11.68	11.55	11.38	12.15	11.50	11.69
		группа 2	9.34	10.43	11.46	11.25	11.19*	10.95	11.33	11.31	11.72	10.90	11.21	11.56	10.70	11.08	10.50*	11.00	10.75
Альфа (Pz)	ДЧ	группа 1	9.92	9.31	12.45	12.45	11.95	12.40	12.31	12.89	12.11	11.48	13.20	12.75	11.81	12.15	11.95	12.50	
		группа 2	8.43	9.47	11.91	11.60	10.92**	9.80	10.42	11.00	10.95*	10.75	11.79	12.44	10.87	11.52	10.50	10.88	10.75
	СЧ	группа 1	10.38	10.62	11.30	11.70	11.90	11.35	11.85	12.06	11.85	11.56	11.48	11.49	11.50	11.38	11.90	11.50	11.81
		группа 2	9.00	10.39	11.44	11.05	10.92	11.00	11.11	11.06	12.37	10.70*	11.09	11.51	10.76	11.11	10.50	10.88	10.75
Бета (С3)	ДЧ	группа 1	21.51	22.79	27.81	23.66	23.01	25.32	24.00	27.16	23.32	25.68	25.78	26.25	24.83	25.04	25.72	27.33	27.81
		группа 2	22.88	21.14	24.66	25.83	24.82	25.09	25.04	24.72	25.75	26.16	26.22	23.35	23.35	25.49	28.50	24.72	25.50
	СЧ	группа 1	25.08	25.49	26.51	26.73	24.04	25.91	26.44	26.33	26.00	26.02	26.05	26.66	26.36	26.66	26.46	26.74	26.52
		группа 2	24.47	24.76	26.58	26.01	26.09	26.48	26.07	26.51	25.46	25.82	26.37	25.95	25.19	26.19	27.25	25.58	25.75

*статистические различия $p \leq 0,05$

** статистические различия $p \leq 0,01$

Примечание: ФОГ – фоновая запись с открытыми глазами, ДЧ – доминирующая частота; СЧ – средняя частота

Обсуждение

В рамках проведенного исследования была изучена динамика частотных характеристик ЭЭГ у профессиональных стрелков из лука во время непосредственного выполнения выстрелов, а также при представлении и имитации выстрелов.

Проведенное нами ЭЭГ исследование демонстрирует наличие определенной динамики мозговой активности во время выполнения упражнений по стрельбе из лука.

Нами показано, что наиболее значимые изменения в ЭЭГ при выполнении стрельбы, а также различных упражнений по стрельбе («представление», «имитация», «прицеливание») наблюдается в диапазонах альфа-ритма и высокочастотного бета-ритма (ВЧ бета-ритм). При этом изменения наблюдаются преимущественно в левом полушарии.

Сравнение полученных данных по мозговой динамике во время выполнения упражнений по стрельбе с результатами успешности выполненных выстрелов, а также с результатами двух серий стрельбы, выполненными непосредственно до эксперимента, которые выполнялись с разных дистанций и проходили на улице в условиях стабильного ветра, выявила ряд закономерностей.

Результативность и стабильность стрельбы связана как с изначальной высокой мощностью альфа- и ВЧ бета-ритмов, так и с увеличением мощностей и частот (доминирующей и средней) указанных ритмов при выполнении стрельбы и стрелковых упражнений.

Также нами показаны значимые различия между группой 1, показавшей более высокие результаты стрельбы, и группой 2, показавшей более низкие результаты стрельбы, преимущественно по динамике альфа-ритма во время выполнения выстрелов, а также упражнений по стрельбе («представление», «имитация», «прицеливание»). Значимые различия между двумя группами преимущественно наблюдаются в течение первых выстрелов (реальных или представляемых).

Выводы

Таким образом, мы можем сделать вывод о том, что наиболее значимые изменения в ЭЭГ во время выполнения выстрела, а также различных упражнений по стрельбе («представление», «имитация», «прицеливание») наблюдается в диапазонах альфа-ритма и высокочастотного бета-ритма. Важно отметить, что значимые, в том числе статистические, изменения показателей наблюдаются преимущественно в левом полушарии и в меньшей степени – в центральных. В правом полушарии значимые изменения ЭЭГ отсутствуют. Снижение активации левого полушария связано, согласно литературным данным, с подавлением вербально-аналитических функций во время прицеливания.

Значимое увеличение активации высокочастотного бета-ритма может свидетельствовать о хорошей стабильности в выполнении стрельбы. Так, испытуемые, характеризующиеся сильным увеличением мощности ВЧ бета-ритма показали хорошие и стабильные результаты в контрольной стрельбе. Испытуемые, которые характеризуются отсутствием значимых изменений в ВЧ бета-диапазоне – показали худшие результаты в контрольной стрельбе.

По итогам проведенной с атлетами беседы относительно того, как именно они представляли выстрелы (сделан ли акцент на зрительный образ, на телесный образ, техническое движение или др.) были выявлены различия по стратегиям представления выстрелов. Спортсмены, показавшие высокие результаты, характеризовались более четкими зрительными образами во всех пробах на представление. Тогда как у менее эффективных

спортсменов чаще наблюдались нечеткие зрительные образы и более ясные телесные ощущения.

Таким образом, в нашем исследовании мы показали, что эффективная стрельба из лука связана с более сильным подавлением активации левого полушария, выражающейся в увеличении частотных характеристик альфа-ритма; а также значимом увеличении высокочастотного бета-ритма в сенсомоторных областях коры. Кроме того, было показано, что при представлении стрелковых движений эффективной является стратегия представления зрительных образов по сравнению с телесными. Полученные результаты могут найти практическое применение в тренировочном процессе как у начинающих лучников, так и у профессионалов.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований, проект № 19-013-00951.

Список литературы

1. Salazar W. et al. Hemispheric asymmetry, cardiac response, and performance in elite archers //Research quarterly for exercise and sport. – 1990. – Т. 61. – №. 4. – С. 351-359.
2. Babiloni C. et al. Golf putt outcomes are predicted by sensorimotor cerebral EEG rhythms //The Journal of physiology. – 2008. – Т. 586. – №. 1. – С. 131-139.
3. Crews D. J., Landers D. M. Electroencephalographic measures of attentional patterns prior to the golf putt //Medicine & Science in Sports & Exercise. – 1993.
4. Doppelmayr M., Finkenzeller T., Sauseng P. Frontal midline theta in the pre-shot phase of rifle shooting: differences between experts and novices //Neuropsychologia. – 2008. – Т. 46. – №. 5. – С. 1463-1467.
5. Hillman C. H. et al. An electrocortical comparison of executed and rejected shots in skilled marksmen //Biological Psychology. – 2000. – Т. 52. – №. 1. – С. 71-83.
6. Konttinen N., Lyytinen H. Brain slow waves preceding time-locked visuo-motor performance //Journal of sports sciences. – 1993. – Т. 11. – №. 3. – С. 257-266.
7. Decety J. et al. Mapping motor representations with positron emission tomography //Nature. – 1994. – Т. 371. – №. 6498. – С. 600-602.
8. Guillot A. et al. Brain activity during visual versus kinesthetic imagery: an fMRI study //Human brain mapping. – 2009. – Т. 30. – №. 7. – С. 2157-2172.
9. Hanakawa T., Dimyan M. A., Hallett M. Motor planning, imagery, and execution in the distributed motor network: a time-course study with functional MRI //Cerebral cortex. – 2008. – Т. 18. – №. 12. – С. 2775-2788.
10. Miller K. J. et al. Cortical activity during motor execution, motor imagery, and imagery-based online feedback //Proceedings of the National Academy of Sciences. – 2010. – Т. 107. – №. 9. – С. 4430-4435.
11. Munzert J., Lorey B., Zentgraf K. Cognitive motor processes: the role of motor imagery in the study of motor representations //Brain research reviews. – 2009. – Т. 60. – №. 2. – С. 306-326.
12. Piras A. Visual scanning in sports actions: comparison between soccer goalkeepers and judo fighters : дис. – alma, 2010.
13. Roland P. E. et al. Supplementary motor area and other cortical areas in organization of voluntary movements in man //Journal of neurophysiology. – 1980. – Т. 43. – №. 1. – С. 118-136.
14. Sharma N., Baron J. C. Does motor imagery share neural networks with executed movement: a multivariate fMRI analysis //Frontiers in human neuroscience. – 2013. – Т. 7. – С. 564.

15. Stippich C., Ochmann H., Sartor K. Somatotopic mapping of the human primary sensorimotor cortex during motor imagery and motor execution by functional magnetic resonance imaging //Neuroscience letters. – 2002. – Т. 331. – №. 1. – С. 50-54.
16. Stephan K. M. et al. Functional anatomy of the mental representation of upper extremity movements in healthy subjects //Journal of neurophysiology. – 1995. – Т. 73. – №. 1. – С. 373-386.
17. Parnabas V., Parnabas J., Parnabas A. M. The relationship between mental imagery and sport performance on basketball //International Journal of Physical and Social Sciences. – 2015. – Т. 5. – №. 4. – С. 208-216.
18. Kim S. et al. Impulse and movement space—time variability //Journal of motor behavior. – 1999. – Т. 31. – №. 4. – С. 341-357.
19. Напалков Д. А., Ратманова П. О., Коликов М. Б. Аппаратные методы диагностики и коррекции функционального состояния стрелка //М.: Макс Пресс. – 2009. – Т. 212.
20. Базанова, О.М. Альфа-ритм и особенности сенсомоторной интеграции. Докторская диссертация/ О.М. Базанова. – 2009
21. Haufler A. J. et al. Neuro-cognitive activity during a self-paced visuospatial task: comparative EEG profiles in marksmen and novice shooters //Biological psychology. – 2000. – Т. 53. – №. 2-3. – С. 131-160.
22. Milton J. et al. The mind of expert motor performance is cool and focused //Neuroimage. – 2007. – Т. 35. – №. 2. – С. 804-813.
23. Hatfield B. D., Hillman C. H. The psychophysiology of sport: A mechanistic understanding of the psychology of superior performance //Handbook of sport psychology. – 2001. – Т. 2. – С. 362-386.
24. Babiloni C. et al. “Neural efficiency” of experts’ brain during judgment of actions: a high-resolution EEG study in elite and amateur karate athletes //Behavioural brain research. – 2010. – Т. 207. – №. 2. – С. 466-475.
25. Babiloni C. et al. Golf putt outcomes are predicted by sensorimotor cerebral EEG rhythms //The Journal of physiology. – 2008. – Т. 586. – №. 1. – С. 131-139.
26. Del Percio C. et al. Functional coupling of parietal alpha rhythms is enhanced in athletes before visuomotor performance: a coherence electroencephalographic study //Neuroscience. – 2011. – Т. 175. – С. 198-211.
27. Cheng M. Y. et al. Higher power of sensorimotor rhythm is associated with better performance in skilled air-pistol shooters //Psychology of Sport and Exercise. – 2017. – Т. 32. – С. 47-53.
28. Gong A. et al. Correlation between resting-state electroencephalographic characteristics and shooting performance //Neuroscience. – 2017. – Т. 366. – С. 172-183.