

УДК 37

DOI:10.34670/AR.2020.68.62.010

Тестирование системы управления движениями и нервно-мышечным аппаратом человека на примере спортсменов, занимающихся настольным теннисом

Катанский Сергей Анатольевич

Кандидат педагогических наук, доцент,
Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»,
115409, Российская Федерация, Москва, Каширское шоссе, 31;
e-mail: catanskiy@mail.ru

Мещеряков Алексей Викторович

Кандидат биологических наук, доцент,
Ульяновский институт гражданской авиации
имени главного маршала авиации Б.П. Бугаева,
432071, Российская Федерация, Ульяновск, ул. Можайского, 8/8;
e-mail: catanskiy@mail.ru

Кодолова Фания Миассаровна

Кандидат педагогических наук, доцент,
Ульяновское училище (техникум) олимпийского резерва,
432028, Российская Федерация, Ульяновск, просп. 50-летия ВЛКСМ, 25;
e-mail: catanskiy@mail.ru

Быстрова Ольга Леонидовна

Кандидат педагогических наук, доцент,
доцент кафедры теории и методики физической культуры
и безопасности жизнедеятельности,
Ульяновский государственный педагогический университет
имени И.Н. Ульянова,
432071, Российская Федерация, Ульяновск, пл. Ленина, 4/5;
e-mail: catanskiy@mail.ru

Аннотация

В статье представлены результаты исследования системы управления движениями и нервно-мышечным аппаратом человека на основе выявления качества функции равновесия. Работа по тестированию уровня развития координационных способностей включала в себя проведение оценки системы управления движениями с использованием биомеханического стенда с инструментальной методикой. Были рассмотрены показатели, полученные посредством компьютерного стабиланализатора «Стабилан-01» с биологической обратной связью. Исследование проведено с привлечением спортсменов,

занимающихся настольным теннисом. Обнаружены индивидуальные значения в пробе «эвольвента», а также в специальной пробе «мячики». Определены спортсмены, имеющие значительный ресурс повышения спортивного мастерства за счет совершенствования межмышечной координации. Отмечается, что основное направление тренажерных программ – развитие координации движений при игре теннисиста. При использовании адаптивных тренажеров на основе компьютерного биоуправления с обратной связью по стабิโลграмме реализуется дифференциальная коррекция различных звеньев афферентного контроля движений и активации мышечной деятельности. Это позволит улучшить качество тренировочного процесса и повысить уровень спортивного мастерства.

Для цитирования в научных исследованиях

Катанский С.А., Мещеряков А.В., Кодолова Ф.М., Быстрова О.Л. Тестирование системы управления движениями и нервно-мышечным аппаратом человека на примере спортсменов, занимающихся настольным теннисом // Педагогический журнал. 2020. Т. 10. № 5А. С. 104-112. DOI:10.34670/AR.2020.68.62.010

Ключевые слова

Спортсмены, настольный теннис, постуральная устойчивость, стабิโลметрия, вертикальная двуопорная стойка, координация.

Введение

Поддержание равновесия является динамическим проявлением живого организма, выражающимся в непрерывном движении его тела, которое представляет собой результат взаимодействия высших отделов центральной нервной системы, мышечно-суставной проприорецепции, зрительного и вестибулярного анализаторов [Шестаков, 2007]. Для тестирования системы управления движениями и нервно-мышечным аппаратом человека в последнее время применяется инструментальная методика с использованием компьютерного стабילוанализатора «Стабилан – 01». Метод компьютерных стабилографических исследований сводится к оценке биомеханических показателей в положении стоя и при перемещениях (в игровой форме). Компьютерный стабילוанализатор «Стабилан – 01» позволяет не только тестировать постуральную устойчивость, но и проводить тренировки с биологической обратной связью для людей с различными заболеваниями и спортсменов (рис. 1).

В рамках реализации проектов, поддержанных Российским фондом фундаментальных исследований, проводился мониторинг психофизиологического состояния организма человека и исследовалась возможность управления его функциональным состоянием. В настоящее время вполне реальным может быть дистанционный мониторинг состояния систем организма и коррекция двигательных действий на основе применения наноэлектромеханических устройств.

Методика стабилографии в спорте приобрела за последние годы также широкое распространение [Андреева, Мельников, Скворцов, 2020]. Наряду с биомеханической оценкой устойчивости, стабилография используется при изучении функционального состояния организма, оценки уровня переносимости тренировочных и соревновательных нагрузок по показателям координации движений, изменения межмышечной координации, состояния центральной нервной системы и др.

В ряде работ показано, что при исследовании координации движений системы «глаз – рука»

кинестетическая система является весьма важным моментом при оценке постуральной устойчивости [Гаже, Вебер, 2008; Джафаров и др., 2019; Мещеряков и др., 2017; Smith, Ulmer, Wong, 2012]. В игровых видах спорта, в том числе в настольном теннисе, использование метода стабилотрии может дать значительный массив информации, интерпретация которой позволит разработать практические рекомендации для развития координационных способностей, координационной выносливости и тем самым улучшить соревновательную деятельность.

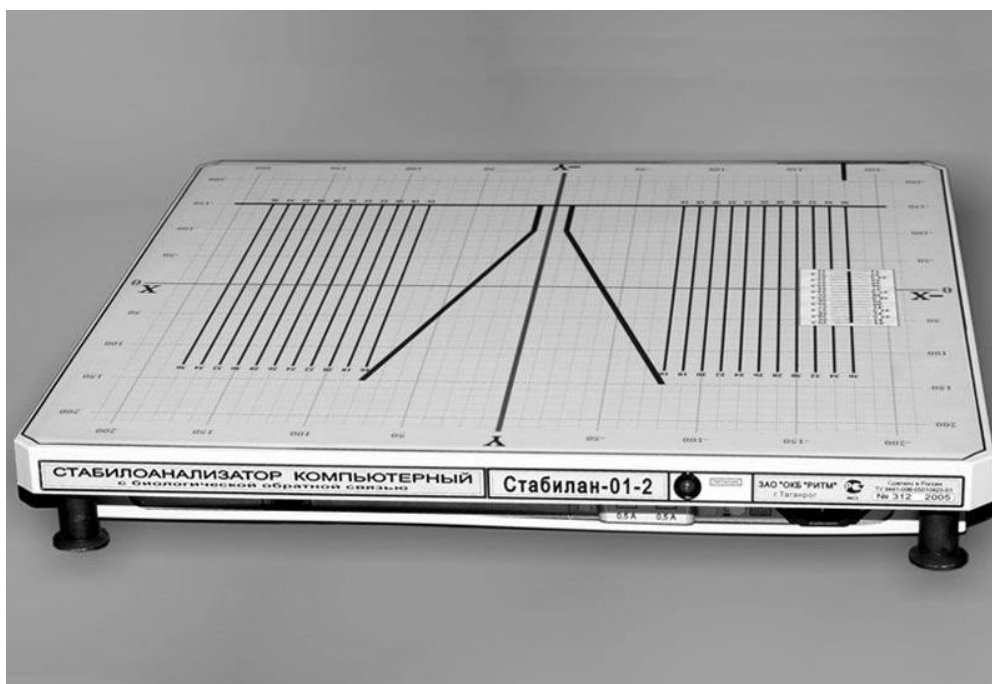


Рисунок 1 – платформа компьютерного стабилотристора «Стабилан – 01»

Цель статьи – исследование системы управления движениями и выявление качества функции равновесия посредством компьютерного стабилотристора у высококвалифицированных спортсменов, занимающихся настольным теннисом.

Организация исследования

В исследовании приняли участие пять высококвалифицированных спортсменов, членов студенческой сборной команды г. Москвы (возраст 22 ± 2 года). Спортсмены тестировались в предсоревновательном тренировочном периоде. Перед каждым обследованием испытуемые знакомились с предстоящими процедурами. Спортсмены подписывали информированное добровольное согласие и получали персональный код обследуемого в соответствии с Федеральным законом «О персональных данных» от 27.07.2006 № 152-ФЗ.

Процедура проведения исследования включала набор тестов (диагностические методики), выполняемых каждым испытуемым стоя на стабилотристорической платформе.

В тесте «Эвольвента» оценивалось качество следящего движения. Исследуемый перемещает проекцию центра массы тела по заданной траектории (эвольвенте), раскручивающейся из центра по определенной амплитуде и сворачивающейся вновь к центру. Исследуемый должен удерживать маркер на маркере эвольвенты. Анализировались параметры стабилотриграфии: средняя ошибка отклонений в сагиттальной и фронтальной плоскостях от

задаваемого образца движения. Способность следящего движения оценивается по средней ошибке слежения за маркером во фронтальной (MidErrX) и сагиттальной (MidErrY) плоскостях; чем меньше ошибок, тем выше точность следящего по эвольвенте движения (рис. 2).

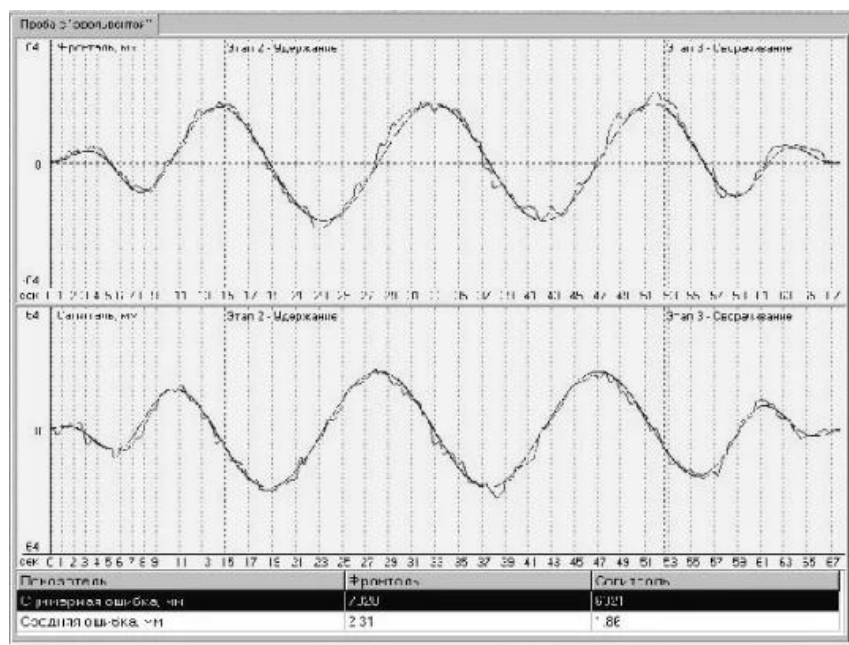


Рисунок 2 – Фрагмент тестирования с эвольвентой

Результаты проведения пробы позволяют оценить возможности спортсмена принимать двигательные решения в случае задания ему внешнего управляющего сигнала.

В *тесте «Мячики»*, являющемся, по сути, компьютерной игрой, исследуемый должен маркером, воспроизводящим проекцию центра массы тела на плоскость стабильной платформы, перемещением тела захватывать мяч, который появляется в случайном месте на поле игры, и укладывать его в одну из трех корзин, выделенную цветом (рис. 3). Цель игры – набрать максимум очков и допустить минимум ошибок.

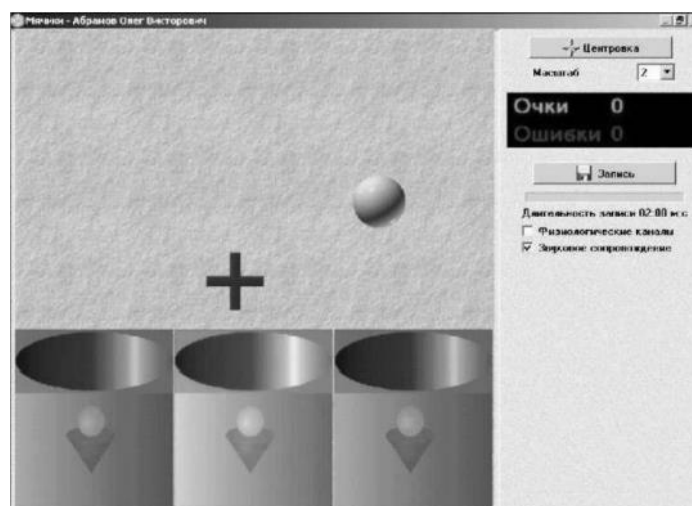


Рисунок 3 – Фрагмент тестирования с использованием игры «Мячики»

В тесте с использованием тренажера «Мячики» анализировались параметры стабильности, связанные с отклонениями общего центра давления испытуемого на опору.

Результаты исследования

Площадь опоры – наиболее часто используемый параметр в клинической, а также в экспериментальной стабиллометрии. В данном стабильностном исследовании проводился анализ векторов перемещения центра давления (ЦД), основанный на изучении облака векторов и функции распределения длин скоростей. Вычисление показателя в математическом плане заключается в процентном определении составляющей тех векторов, угол отклонения каждого из которых отличен от предыдущего вектора более чем на 45° . Принято считать, что увеличение значений показателя свидетельствует о нерациональном, расточительном использовании энергетических ресурсов организма.

Для анализа задействовано значительное количество стабильностных показателей колебаний ЦД:

- 1) OD – оценка движения (рад/с);
- 2) IV – индекс скорости (мм/с);
- 3) V – средняя скорость перемещения ЦД (мм/сек);
- 4) QX и QY – среднее квадратическое отклонение проекции центра массы тела во фронтальной и сагиттальной плоскостях (мм);
- 5) R – средний радиус отклонения ЦД (мм);
- 6) LX и LY – длина траектории ЦД по фронтали и сагиттали (мм);
- 7) S – площадь статокинезиограммы (мм²);
- 8) ELLE – коэффициент площади доверительного эллипса;
- 9) SV – скорость изменения площади статокинезиограммы (мм²/с);
- 10) ELLS – площадь эллипса (мм²);
- 11) УСС – угловая средняя скорость (град/сек);
- 12) ЛСС – линейная средняя скорость колебания ЦД мм/сек;
- 13) ЛС/УС – соотношение линейной и угловой скоростей колебания ЦД;
- 14) КРИНД – коэффициент резкого изменения направления движения вектора;
- 15) КФР – качество функции равновесия (%).

Несмотря на многообразие методов математической обработки стабиллометрического сигнала, существует ряд параметров, которые с точки зрения клинического анализа имеют доминирующее значение. Эти параметры используются в подавляющем большинстве исследований и взяты нами при интерпретации полученных результатов.

Окончательная оценка устойчивости в вертикальной позе исследуемых проводилась при помощи интегрального показателя «качество функции равновесия» (КФР). Принято суждение, что чем больше значение КФР, тем выше функция равновесия в процессе поддержания человеком вертикальной позы. Этот показатель достоверно отображает исследуемый процесс. Он определяется при анализе векторов скоростей и ускорений, отражая траектории движения центра давления, стоящего на плоскости опоры человека, и более глубоко характеризует процессы, в результате которых осуществляется функция прямохождения.

В данном исследовании важным является возможность автоматического совмещения математического ожидания центра давления с центром координат стабильной платформы на экране монитора, регистрация, анализ траектории перемещения центра давления, исследуемого на

плоскость опоры. Из массива полученных данных при тестировании были отобраны стабилеографические показатели, представленные в таблицах 1 и 2.

На основании литературных данных можно утверждать, что чем выше значение КФР, тем выше координационные возможности спортсмена и его способность совершенствовать технику соревновательного упражнения, управляя межмышечной координацией [Андреева, Мельников, Скворцов, 2020; Джафаров и др., 2019; Мещеряков и др., 2017; Шестаков, 2007].

В соответствии с данными таблицы 1, рассматриваемые стабилеографические показатели колебаний ЦД при тестировании с «эвольвентой» высококвалифицированных спортсменов-теннисистов позволяют наблюдать особенности управления движениями у обследуемых. Учитывая высокую квалификацию спортсменов, тем не менее, можно выделить исследуемого «2», у которого качество функции равновесия имеет наиболее высокое значение (25,4%). Стабилеографические показатели колебаний ЦД при тестировании в игре «Мячики» в итоге также лучшие у исследуемого «2», судя и по интегральному показателю – КФР, который составляет 3,29%.

Таблица 1 – Стабилеографические показатели колебаний ЦД при тестировании с «эвольвентой»

Шифр обследуемого	КФР, %	МВ, мм ² /с	НПВ, мм ² /с	КРИНД, %	ЛСС, мм/с	АВЛС, мм/с	УСС, град/с	АВУС, град/с	ПВЛС, с	ПВУС, с	ЛС/УС
1	12,8	126,92	4,35	5,19	58,61	54,81	13,0	19,1	0,577	0,506	4,52
2	25,4	51,14	2,063	8,44	37,28	31,79	16,7	18,5	0,565	0,477	2,23
3	7,63	182,92	9,273	8,14	71,75	65,52	16,6	19,7	0,605	0,476	4,33
4	22,5	50,02	3,123	8,03	36,15	30,54	16,9	18,1	0,505	0,481	2,14
5	18,48	41,53	2,256	9,53	36,06	29,59	18,5	19,2	0,567	0,488	1,95

Стабилеографические показатели колебаний ЦД при тестировании с «эвольвентой» позволяют сделать заключение, что худшее значение КФР среди спортсменов – у обследуемого «3» и составляет 7,63%. Также у обследуемого «3» показатели колебаний ЦД при тестировании в игре «Мячики», представленные в таблице 1, самые худшие: КФР равняется 0,11%.

Таблица 2 – Стабилеографические показатели колебаний ЦД при тестировании в игре «Мячики»

Шифр обследуемого	КФР, %	МВ, мм ² /с	НПВ, мм ² /с	КРИНД, %	ЛСС, мм/с	АВЛС, мм/с	УСС, град/с	АВУС, град/с	ПВЛС, с	ПВУС, с	ЛС/УС
1	0,61	844,39	43,315	5,65	149,97	141,83	13,9	18,8	0,584	0,51	10,81
2	3,29	175,99	6,427	3,07	78,72	68,19	9,8	14,5	0,631	0,505	8,02
3	0,11	1263,09	79,836	7,1	194,95	226,63	15,8	21,2	0,648	0,495	13,32
4	1,44	564,37	24,252	4,84	130,1	122,21	12,5	17,3	0,617	0,475	10,37
5	0,7	481,77	21,467	4,92	124,06	108,7	12,6	17,2	0,581	0,498	9,87

Таким образом, определены лидер и аутсайдер команды. Также стал ясен диапазон параметров колебаний ЦД при тестировании.

Известно, что уровень постурального контроля у квалифицированных спортсменов более автономен, чем у людей, не занимающихся спортом [Андреева, Мельников, Скворцов, 2020; Шестаков, 2007]. Соответственно, они способны более эффективно поддерживать равновесие (координацию) в условиях отвлечения ресурсов внимания.

Заключение

Полученные в ранних работах данные постурального тестирования спортсменов игровых видов спорта, также имеющих высокую квалификацию, позволяют констатировать наличие особенности функций равновесия у теннисистов, принимавших участие в данном исследовании. Основа правильной индивидуализации технического мастерства в теннисе лежит в развитии и совершенствовании координационных способностей. Особенно актуальным является развитие у спортсменов координации движений «глаз – рука». То есть основная система управления балансом построена на сигналах, поступающих от мышечных рецепторов, суставных и механорецепторов, а также от визуальной информации. В этой связи возникает проблема поиска адекватных и объективных средств (упражнений) развития межмышечной координации для работы с теннисистами.

По окончании исследования каждому исследуемому была предложена программа тренировки по развитию как ординарных координационных способностей, так и специфических. Целенаправленная тренировка по сопряженному развитию специфических координационных проявлений и совершенствованию техники выполнения теннисных действий проводилась во время регулярных занятий.

В целях контроля функции равновесия, межмышечной координации и управления движениями (повышения технического мастерства) спортсменов необходимо регулярное проведение стабیلографических исследований. При этом стабیلографические методы вполне совместимы со специальными компьютерными программами с биологической обратной связью, основанными на визуализации положения центра давления или управления определенными действиями посредством перемещения. Серию тестов можно модифицировать и дополнить в зависимости от контингента испытуемых и задач исследования, а также в соответствии со специфическими требованиями того или иного вида спорта. Основное направление тренажерных программ – развитие координации движений при игре теннисиста. При использовании адаптивных тренажеров на основе компьютерного биоуправления с обратной связью по стабیلограмме реализуется дифференциальная коррекция различных звеньев афферентного контроля движений и активации мышечной деятельности. Это позволит улучшить качество тренировочного процесса и повысить уровень спортивного мастерства.

Библиография

1. Андреева А.М., Мельников А.А., Скворцов Д.В. Постуральная устойчивость у спортсменов: роль возраста и пола // Материалы IV Всероссийской научно-практической конференции с международным участием по спортивной науке «Подготовка спортивного резерва». М., 2020. С. 17-25.
2. Антонец В.А., Грибков А.Л., Шестернин М.Е. Исследование акустических шумов напряжённой мышцы // Биофизика. 2000. Вып. 6. С. 1125-1130.
3. Гаже П.-М., Вебер Б. Постурология. Регуляция и нарушения равновесия тела человека. СПб., 2008. 312 с.
4. Джафаров Д.Ф. и др. Возможности тестирования системы управления движениями на примере спортсменов-гольфистов // Modern Humanities Success. 2019. № 8. С. 98-101.
5. Кубряк О.В., Гроховский С.С. Практическая стабیلометрия. Статические двигательные-когнитивные тесты с биологической обратной связью по опорной реакции. М., 2012. 88 с.

6. Мещеряков А.В. и др. Стабилометрия для контроля процесса реабилитации // Курортная медицина. 2017. № 2. С. 55-61.
7. Озолин Н.К. Настольная книга тренера : наука побеждать. М., 2002. 864 с.
8. Сокунова С.Ф. Контроль за уровнем развития выносливости спортсменов // Теория и практика физической культуры. 2002. № 8. С. 56-59.
9. Шестаков М.П. Использование стабилотрии. М., 2007. 106 с.
10. Smith A., Ulmer F., Wong D. Gender differences in postural stability among children // Journal of human kinetics. 2012. Vol. 33. No. 1. P. 25-32.

Testing of the motion control system and the neuromuscular apparatus of a person on the example of athletes engaged in table tennis

Sergei A. Katanskii

PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor,
National Research Nuclear University "MEPhI",
115409, 31 Kashirskoe shosse, Moscow, Russian Federation;
e-mail: catanskiy@mail.ru

Aleksei V. Meshcheryakov

PhD in Biological Sciences, Associate Professor,
Ulyanovsk Institute of Civil Aviation
named after the Chief Marshal of Aviation B.P. Bugaev,
432071, P8/8 Mozhaiskogo st., Ul'yanovsk, Russian Federation;
e-mail: catanskiy@mail.ru

Faniya M. Kodolova

PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Ulyanovsk School (Technical School) of the Olympic Reserve,
432028, 25 50-letiya VLKSM av., Ul'yanovsk, Russian Federation;
e-mail: catanskiy@mail.ru

Ol'ga L. Bystrova

PhD in Pedagogical Sciences, Associate Professor,
Ulyanovsk State Pedagogical University named after I.N. Ulyanov,
432071, 4/5 Linina sq., Ulyanovsk, Russian Federation,;
e-mail: catanskiy@mail.ru

Abstract

The article presents the results of a study of the motion control system and the neuromuscular apparatus of a person on the basis of identifying the quality of the balance function. The work on testing the level of development of coordination abilities included an assessment of the movement control system using a biomechanical stand with an instrumental method. The indicators obtained

by means of the computer stabiloanalyzer "Stabilan-01" with biological feedback were considered. The study was carried out with the involvement of athletes engaged in table tennis. The article presents individual values in the "involute" sample, as well as in the special "balls" test. Athletes have been identified who have a significant resource for improving sportsmanship by improving intermuscular coordination. It is noted that the main direction of training programs is the development of coordination of movements when playing a tennis player. The authors conclude that when using adaptive simulators based on computer biofeedback with feedback on a stabilogram, differential correction of various links of afferent control of movements and activation of muscle activity is realized. This will improve the quality of the training process and increase the level of sportsmanship.

For citation

Katanskii S.A., Meshcheryakov A.V., Kodolova F.M., Bystrova O.L. (2020) Testirovanie sistemy upravleniya dvizheniyami i nervno-myshechnym apparatom cheloveka na primere sportmenov, zanimayushchikhsya nastol'nym tennisom [Testing of the motion control system and the neuromuscular apparatus of a person on the example of athletes engaged in table tennis]. *Pedagogicheskii zhurnal* [Pedagogical Journal], 10 (5A), pp. 104-112. DOI:10.34670/AR.2020.68.62.010

Keywords

Athletes, table tennis, postural stability, stabilometry, vertical two-point stance, coordination.

References

1. Andreeva A.M., Mel'nikov A.A., Skvortsov D.V. (2020) Postural'naya ustoichivost' u sportmenov: rol' vozrasta i pola [Postural stability in athletes: the role of age and sex]. *Materialy IV Vserossiiskoi nauchnoprakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem po sportivnoi nauke "Podgotovka sportivnogo rezerva"* [Proc. All-Russian Conf. "Preparation of the sports reserve"]. Moscow, pp. 17-25.
2. Antonets V.A., Gribkov A.L., Shesternin M.E. (2000) Issledovanie akusticheskikh шумов napryazhennoi myshtsy [Study of acoustic noises of a tense muscle]. *Biofizika* [Biophysic], 6, pp. 1125-1130.
3. Dzharfarov D.F. et al. (2019) Vozmozhnosti testirovaniya sistemy upravleniya dvizheniyami na primere sportmenov-gol'fistov [Possibilities of testing the motion control system on the example of athletes-golfers]. *Modern Humanities Success*, 8, pp. 98-101.
4. Gazhe P.-M., Veber B. (2008) *Posturologiya. Regulyatsiya i narusheniya ravnovesiya tela cheloveka* [Posturology. Regulation and imbalance of the human body]. Saint Petersburg.
5. Kubryak O.V., Grokhovskii S.S. (2012) *Prakticheskaya stabilometriya. Staticheskie dvigatel'no-kognitivnye testy s biologicheskoi obratnoi svyaz'yu po opornoj reaktsii* [Practical stabilometry. Static motor-cognitive tests with biofeedback based on the support response]. Moscow.
6. Meshcheryakov A.V. i dr (2017). Stabilometriya dlya kontrolya protsessa reabilitatsii [Stabilometry for monitoring the rehabilitation process]. *Kurortnaya meditsina* [Resort medicine], 2, pp. 55-61.
7. Ozolin N.K. (2002) *Nastol'naya kniga trenera : nauka pobezhdat'* [Coach's Handbook: The Science of Winning]. Moscow.
8. Shestakov M.P. (2007) *Ispol'zovanie stabilometrii* [Using of stabilometry]. Moscow.
9. Smith A., Ulmer F., Wong D. (2012) Gender differences in postural stability among children. *Journal of human kinetics*, 33 (1), pp. 25-32.
10. Sokunova, S.F. (2002) Kontrol' za urovnem razvitiya vynoslivosti sportmenov [Control over the level of endurance development of athletes]. *Teoriya i praktika fizicheskoi kul'tury* [Theory and practice of physical culture], 8, pp. 56-59.