

4. Гусева, Е. В. Динамика показателей максимальной силы и силовой выносливости у гимнасток / Е. В. Гусева, О. И. Загrevский // Теория и практика физической культуры. – 2020. – № 11. – С. 89–91.

5. Зайцев, А. А. Педагогические и психофизиологические аспекты технической подготовки с предметами в художественной гимнастике / А. А. Зайцев, Л. В. Рожкова // Вестник Балтийского федерального университета им. И. Канта. – 2011. – Вып. 11. – С. 105–112.

6. Квашнина, Е. В. Повышение эффективности тренировочного процесса девочек, занимающихся художественной гимнастикой / Е. В. Квашнина // Педагогико-психологические и медико-биологические проблемы физической культуры и спорта. – № 12 (3). – 2017. – С. 53–60.

7. Краева, Е. С. Взаимосвязь качества выполнения перебросок в групповых упражнениях художественной гимнастики со специально-двигательными способностями спортсменок / Е. С. Краева // Ученые записки университета им. П. Ф. Лесгафта. – № 1 (143). – 2017. – С. 95–98.

8. Николаева, Е. С. Развитие координационных способностей как условие эффективного обучения девочек 5–7 лет в упражнениях с предметами в художественной гимнастике: автореф. дис. ... канд. пед. наук / Е. С. Николаева. – М., 2007. – 23 с.

Гусейнов Д.И.

Белорусский государственный университет физической культуры

Турантаева Г.Г.

Пермяков Т.В.

Белорусский национальный технический университет

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ АНАЛИЗА И ОЦЕНКИ ТЕХНИКИ ДАЛЬНИХ УДАРОВ В ГОЛЬФЕ

Guseinov D.I.

Belarusian State University of Physical Culture

Turantaeva G.G.

Permyakov T.V.

Belarusian National Technical University

THE JUSTIFICATION OF THE CHOICE OF BIOMECHANICAL PARAMETERS FOR THE ANALYSIS AND EVALUATION OF THE TECHNIQUE OF LONG-RANGE GOLF SWING

АННОТАЦИЯ. Оценка технических действий гольфиста является актуальной задачей вследствие высокой двигательной сложности ударов по мячу, посылаемому в лунку. В статье раскрываются вопросы количественного анализа техники выполнения дальних ударов в гольфе по ключевым биомеханическим параметрам движений, отображаемым в трехмерном пространстве.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: гольф; техника выполнения дальних ударов; «захват движения»; биомеханические параметры.

ABSTRACT. Evaluation of the golf swing technique is an urgent task due to the high motor complexity of such sports movements. The article reveals the issues of quantitative analysis of the technique of performing long-range golf swing by key biomechanical parameters of movements displayed in three-dimensional space

KEYWORDS: golf; long-range golf swing technique; motion capture; biomechanical parameters.

Введение. Техника удара в гольфе хоть и направлена на достижение простейшей цели – направить как можно большее количество кинетической энергии в тело клюшки, чтобы обеспечить наибольшее перемещение мяча в пространстве, однако является трудным в освоении двигательным инструментом.

Выполнение удара в гольфе, сопровождающееся амплитудных замахом (с англ. – *Backswing*) и стремительным ударом (с англ. – *Downswing*) представляет собой сложный двигательный акт, в котором участвуют все биокинематические цепи тела спортсмена. Подобный специализированный двигательный акт формируется по принципу кинематической цепи, когда для создания наибольшего импульса и придания максимальной возможной начальной скорости полета мяча для преодоления наибольшего расстояния используются точки опоры и соответствующие им моменты силы, создаваемые каждым биокинематическим звеном тела спортсмена и способствующие развитию необходимого усилия посредством последовательных двигательных действий, выполняемых сперва нижними конечностями, затем туловищем и верхними конечностями [1].

Техника выполнения удара в гольфе является ключевым элементом игровой практики, поскольку именно благодаря совершенной технике движений, оптимизированной и индивидуальной, гольфист способен завершить игру, забив мяч в лунку, сделав наименьшее количество ударов [2]. Сперва гольфист принимает исходное положение. Обычно это позиция, характеризующаяся незначительным сгибанием ног в коленных суставах и наклоном туловища вперед. Подобная исходная стойка необходима для повышения устойчивости тела спортсмена посредством снижения общего центра тяжести при прицеливании. В общем случае, значение стойки сложно переоценить, поскольку степень устойчивости спортсмена при выполнении замаха и непосредственно удара определяет двигательную эффективность целостного двигательного акта в пределах всей амплитуды с точки зрения возникающих точек опоры, а также моментов сил и крутящих моментов [3].

Удар в гольфе начинается с амплитудного замаха, в рамках которого, во-первых, создается крутящий момент благодаря вращению туловища относительно собственной продольной оси тела спортсмена, в то время как таз остается неподвижным, а во-вторых, происходит накопление потенциальной энергии, которая при выполнении удара преобразовывается в кинетическую [4]. Известно, что по мере того, как замах продолжается до крайней точки амплитуды движения, ведущая рука гольфиста должна быть совершенно прямой, а ведомая – согнута в локтевом суставе для обеспечения достаточной амплитуды. Посредством замаха обеспечивается необходимое мышечное напряжение и растяжение мышц верхних конечностей и туловища, активное сокращение которых во многом обеспечивает скоростную и силовую составляющую удара. Стоит отметить, что достоверно установленное снижение скорости

движения клюшки при выполнении удара согласуется со значительно меньшей точностью и согласованностью отдельных двигательных действий [5].

Таким образом, процесс тренировки и совершенствования техники удара в гольфе, исходя из его двигательной сложности, должен быть направлен на формирование устойчивого двигательного навыка, степень вариативности которого стремится к минимуму вне зависимости от скорости движения. В общем случае можно декларировать, что главной целью в формировании специализированных навыков гольфиста является обеспечение стабильности выполнения удара в непостоянных и неконтролируемых условиях окружающей среды в процессе игровой деятельности [1]. Вопрос контроля изменчивости движений в отношении ее влияния на спортивный результат на протяжении многих лет является актуальным [6, 7].

Эффективность процесса тренировки столь сложного двигательного навыка не может обходиться без регулярного комплексного анализа техники, неизменно сопровождающегося обратной связью в отношении спортсмена. В частности, установлено, что игроки в гольф вне зависимости от квалификации могут освоить технику стабильного и сбалансированного с точки зрения возникающих сил, моментов сил и крутящих моментов удара, получая информацию о ключевых биомеханических характеристиках движений [8]. Подобный системный подход предоставляет игроку возможность на основе собственных наблюдений и аналитических оценок сформировать множество двигательных решений, обеспечивающих повышение биомеханической эффективности техники удара с точки зрения ключевых критериев (начальная скорость полета мяча, угол вылета мяча, дальность полета мяча), а также координационную адаптивность к изменяющимся условиям.

Исходя из вышеизложенного, целью данной работы является выявление информативных биомеханических параметров техники ударов по мячу в гольфе, на основании которых можно оценивать индивидуальный уровень технической подготовленности гольфистов.

Основная часть

Методы и организация исследования. В пилотном исследовании участвовали два квалифицированных игрока в гольф. Спортсменам было предложено выполнить по 5 ударов с площадки, на которой гольфисты обычно отрабатывают дальние удары (с англ. – *Driving range*). При выполнении ударов спортсмены использовали клюшку типа “Iron 7”. Для регистрации биомеханических показателей движений использовался аппаратно-программный комплекс оптического захвата движений Qualisys (рисунок 1).

Для обозначения всех ключевых сегментов тела спортсмена использовался маркер-сет, состоящий из 32 пассивных светоотражающих маркеров. Готовая компьютерная визуализация тела спортсмена представлена на рисунке 2.

Использование аппаратно-программного комплекса захвата движений обусловлено пространственной сложностью удара. Дело в том, что для того, чтобы получить наиболее точные и объективные данные, необходимо использовать измерительные средства, результат применения которых освобожден от различного рода искажений (к примеру, использование обычной плоскостной видеосъемки сопряжено с регистрацией искаженных данных в случае, если спортсмен сместится с фокусной точки или изменит свою ориентацию относительно плоскости съемки).



Рисунок 1 – Расположение камер аппаратно-программных комплексов оптического захвата движений Qualisys

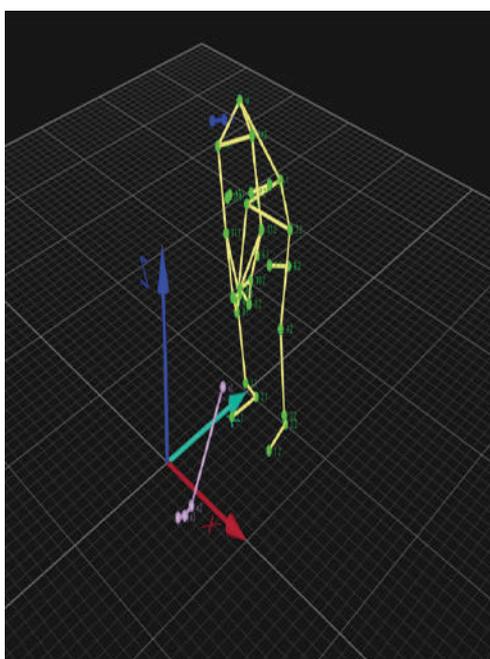


Рисунок 2 – Компьютерная визуализация тела спортсмена средствами трехмерной графики программной части аппаратно-программного комплекса оптического захвата движений Qualisys

Для анализа техники выполнения дальнего удара в гольфе целостный двигательный акт с момента начала замаха до момента касания телом клюшки мяча обычно разделяют на 4 ключевых момента времени [9, 10]:

1. Исходное положение (Address Position).
2. Середина замаха (Mid-backswing), когда клюшка параллельна горизонтальной плоскости.
3. Вершина замаха (Top of Backswing), когда угол вращения туловища относительно собственной продольной оси тела спортсмена принимает максимальное значение в направлении вращения, противоположном выполнению удара.

4. Контакт тела клюшки с мячом (Ball Contact).

Оценка техники выполнения дальних ударов осуществлялась на основании следующих параметров [11]:

- 1) скорость движения тела клюшки в момент времени 4 (V , км/ч);
- 2) время выполнения замаха (t_{bsw} , с);
- 3) суммарное время выполнения удара (t_s , с);
- 4) угол наклона туловища в сагиттальной плоскости в момент времени 1 (α_1 , град.);
- 5) амплитуда вращения туловища вокруг собственной продольной оси тела в момент времени 3 (A , град.);
- 6) угол наклона ведущей руки относительно горизонтали в момент времени 3 (ϕ_3 , град.);
- 7) угол сгибания ведущей руки в локтевом суставе в момент времени 4 (γ_4 , град.).

Для 5 попыток выполнения дальнего удара были рассчитаны среднее значение и среднеквадратическое отклонение. Для оценки вариативности движений также было рассчитано значение коэффициента вариации (1) [12]:

$$KB = \frac{\sigma}{X} \times 100 \% , \quad (1)$$

где KB – коэффициент вариации, %;

σ – среднеквадратическое отклонение показателей анализируемого параметра, ед. изм.;

X – среднее значение анализируемого параметра, ед. изм.

Результаты. В таблицах 1–3 представлены данные 10 высококвалифицированных игроков в гольф (Handicap Index = $0,3 \pm 0,5$), так называемые Low-Handicap Players. По каждому параметру в таблицах приведены средние значения относительно 10 ударов при использовании 5 различных клюшек, в числе которых также присутствовала клюшка типа “Iron 7”. Кроме того, в таблицах приведены показатели коэффициентов вариации относительно каждого параметра. Представленные в таблицах данные использовались для сравнения и оценки технической подготовленности спортсменов, принявших участие в пилотном исследовании. Данные для таблиц 1–3 взяты из исследований предшественников [11].

Показатели спортсменов, принявших участие в исследовании, представлены в таблицах 4–6.

Данные, представленные в таблице 1, носят справочный характер и могут выступать в качестве негласных критериев эффективности выполнения дальних ударов, особенно в условиях, когда нет возможности измерить длину полета мяча.

Таблица 1 – Общие показатели выполнения дальних ударов (Low-Handicap Players)

Параметр	Скорость движения тела клюшки в момент времени 4 (V, км/ч)		Время выполнения замаха (t_{bsw} , с)		Суммарное время выполнения удара (t_s , с)	
	Значение	Коэффициент вариации (КВ, %)	Значение	Коэффициент вариации (КВ, %)	Значение	Коэффициент вариации (КВ, %)
Среднее значение, X	84,21	2,43	0,80	3,40	1,10	2,30
Среднеквадратическое отклонение, σ	2,32	0,84	0,10	1,00	0,10	1,00

Таблица 2 – Показатели движения туловища при выполнении дальних ударов (Low-Handicap Players)

Параметр	Угол наклона туловища в сагиттальной плоскости в момент времени 1 (α_1 , град.)		Амплитуда вращения туловища вокруг собственной продольной оси тела в момент времени 3 (A, град.)	
	Значение	Коэффициент вариации (КВ, %)	Значение	Коэффициент вариации (КВ, %)
Среднее значение, X	33,20	2,30	99,30	2,30
Среднеквадратическое отклонение, σ	4,00	1,60	10,80	0,50

Таблица 3 – Показатели движения ведущей руки при выполнении дальних ударов (Low-Handicap Players)

Параметр	Угол наклона ведущей руки относительно горизонтали в момент времени 3 (ϕ_3 , град.)		Угол сгибания ведущей руки в локтевом суставе в момент времени 4 (γ_4 , град.)	
	Значение	Коэффициент вариации (КВ, %)	Значение	Коэффициент вариации (КВ, %)
Среднее значение, X	35,70	9,10	182,10	1,80
Среднеквадратическое отклонение, σ	18,50	4,90	4,60	0,50

Таблица 4 – Общие показатели выполнения дальних ударов (спортсмены, принявшие участие в исследовании)

Параметр	Скорость движения тела клюшки в момент времени 4 (V, км/ч)		Время выполнения замаха (t_{bsw} , с)		Суммарное время выполнения удара (t_s , с)	
	Значение	Коэффициент вариации (КВ, %)	Значение	Коэффициент вариации (КВ, %)	Значение	Коэффициент вариации (КВ, %)
Спортсмен 1	80,05	2,44	0,96	8,98	1,27	6,94
	1,95		0,09		0,09	
Спортсмен 2	78,07	0,98	0,97	3,79	1,23	3,32
	0,76		0,04		0,04	

Как отмечено ранее, данные, представленные в таблицах 1 и 4, могут быть использованы в качестве критериев эффективности выполнения дальних ударов. Дру-

гими словами, на подобные показатели оказывают прямое либо косвенное влияние показатели, представленные в остальных таблицах.

Таблица 5 – Показатели движения туловища при выполнении дальних ударов (спортсмены, принявшие участие в исследовании)

Параметр	Угол наклона туловища в сагиттальной плоскости в момент времени 1 (α_1 , град.)		Амплитуда вращения туловища вокруг собственной продольной оси тела в момент времени 3 (A, град.)	
	Значение	Коэффициент вариации (КВ, %)	Значение	Коэффициент вариации (КВ, %)
Спортсмен 1	46,10	1,46	83,92	3,84
	0,67		3,22	
Спортсмен 2	47,56	0,82	84,15	2,12
	0,39		1,79	

Угол наклона туловища в момент времени 1 (исходное положение) на самом деле является довольно важным и информативным показателем, поскольку определяет пространственную структуру последующего замаха и удара. Как правило, спортсмен, выполняя замах и затем удар, существенно не изменяет ориентацию туловища в сравнении с исходным положением. Соответственно, чем больше угол наклона туловища спортсмена вперед, тем дальше находится его общий центр тяжести от мяча. Кроме того, это свидетельствует о недостаточном сгибании ног в коленных суставах, вследствие чего общий центр тяжести находится довольно высоко относительно поверхности опоры. Это свидетельствует о менее устойчивом положении тела спортсмена. Более выраженный наклон туловища вперед вынуждает спортсмена отводить верхние конечности от туловища, что обеспечивает необходимое прицеливание и взаимодействие с мячом в момент удара. При отведении конечностей от туловища возникают дополнительные моменты силы, препятствующие скоростному вращению туловища при выполнении удара, поскольку сложность контроля двигательными действиями в рассматриваемый промежуток времени возрастает. Система проприоцептивной чувствительности активизируется сильнее обычного, поскольку в нее поступает множество дополнительной информации о конечностях, находящихся не в контакте с туловищем, а на расстоянии от него. Известно, что при выполнении замаха и удара верхние конечности спортсмена должны находиться как можно ближе к туловищу, что необходимо для снижения моментов сил, а также для повышения степени контроля вращения [13].

Амплитуда вращения туловищем также является важным параметром в контроле технической подготовленности гольфиста. Современная техника выполнения дальнего удара в гольфе несколько отличается от классической. В частности, ключевым отличием на сегодняшний день является то, что амплитуда вращения туловища при выполнении замаха сокращается [14]. Это обусловлено тем, что спортсмены начинают все больше контролировать разворот таза и ограничивать его при выполнении замаха. Значительно больший акцент делается на вращении туловища. Когда спортсмен вращает туловище при выполнении замаха, зафиксировав при этом таз, у него появляется возможность создания значительно большего крутящего момента, которого невозможно было бы достичь, не зафиксировав таз в исходном положении.

Подобное явление можно описать в виде аналогии с пружиной. Если один конец пружины зафиксировать, а второй вращать в определенном направлении, то будут возникать силы, стремящиеся вернуть пружину в исходное положение. Если не зафиксировать один конец пружины, то подобных сил достичь не удастся. Строение человеческой мускулатуры, особенно в области туловища и смежных с ним областей, чрезвычайно схоже с пружиной. Таким образом, вращение туловища с относительно зафиксированным тазом позволяет достигать большего крутящего момента, незначительно сократив при этом амплитуду этого вращения. Кроме того, сокращение амплитуды вращения туловища позволяет снизить риск возникновения травм поясничного отдела, что особенно распространено среди гольфистов различной возрастной категории и уровня мастерства [15].

Анализируя данные амплитуды вращения туловища вокруг собственной продольной оси тела в момент времени 3 можно заметить, что у спортсменов, принявших участие в исследовании, в сравнении с игроками Low-Handicap показатели ниже. Однако ориентируясь на данные, представленные в таблице 4, можно сделать вывод о недостаточной амплитуде вращения в принципе, поскольку скорость тела клюшки в момент соприкосновения с мячом у спортсменов, принявших участие в исследовании, значительно ниже в сравнении с игроками Low-Handicap.

Таблица 6 – Показатели движения ведущей руки при выполнении дальних ударов (спортсмены, принявшие участие в исследовании)

Параметр	Угол наклона ведущей руки относительно горизонтали в момент времени 3 (ϕ_3 , град.)		Угол сгибания ведущей руки в локтевом суставе в момент времени 4 (γ_4 , град.)	
	Значение	Коэффициент вариации (КВ, %)	Значение	Коэффициент вариации (КВ, %)
Спортсмен 1	33,15	8,11	176,00	0,87
	2,69		1,53	
Спортсмен 2	29,75	8,29	173,51	0,51
	2,47		0,88	

Показатель угла наклона ведущей руки относительно горизонтали в конечный момент времени замаха, а также величина суставного угла в локтевом суставе ведущей руки в момент касания тела клюшки мяча представляют собой довольно информативные значения с точки зрения процедуры контроля технической подготовленности спортсменов-гольфистов. Чем больше значение угла наклона ведущей руки относительно горизонтали, тем выше с учетом морфофизиологических особенностей строения тела, спортсмену удастся поднять клюшку над поверхностью опоры, увеличив тем самым амплитуду выполнения удара. Это, в свою очередь, позволяет спортсмену увеличить скорость движения клюшки при выполнении удара. Увеличивая угол наклона ведущей руки относительно горизонтали, спортсмен также увеличивает натяжение мышц, фиксирующих плечевой сустав, трехглавой мышцы плеча и крупные мышцы спины (широчайшие мышцы). Все это в совокупности влияет на скорость движения клюшки и, как следствие, на начальную скорость полета мяча.

Угол сгибания ведущей руки в локтевом суставе в момент соприкосновения тела клюшки с мячом (момент времени 4) является важным параметром с точки зрения обеспечения принципа кинематической цепи, поскольку рассматриваемый момент

времени является последним и в тоже время ключевым при выполнении удара. Ведущая рука спортсмена на протяжении всей амплитуды движения клюшки должна быть напряжена и практически полностью разогнута в локтевом суставе для того, чтобы снизить риск возможности выполнения дополнительных сгибательно-разгибательных движений, уводящих клюшку из плоскости удара. Чем меньше величина суставного угла в локтевом суставе ведущей руки спортсмена, тем выше риск нежелательных движений. Кроме того, спортсмены с меньшими значениями суставного угла в локтевом суставе ведущей руки касаются телом клюшки мяча в различных зонах (рисунок 3) [16].

Закключение. Изучение и понимание оптимальной с точки зрения фактической результативности техники выполнения ударов в гольфе является крайне важным аспектом в современных условиях развития гольфа. Оптимальная биомеханика движений гольфиста при выполнении замаха и удара играет ключевую роль в максимизации расстояния полета мяча, а также точности попадания в определенные области игрового поля или непосредственно в лунку. Для совершенствования техники выполнения ударов необходимо регулярно проводить количественный скрининг двигательных действий гольфиста по основным и наиболее информативным показателям и предоставлять информацию в качестве обратной связи. При этом наибольшего педагогического эффекта можно достичь, демонстрируя спортсмену не только сухие цифры в сравнении с лучшими игроками, но и показывать технику движений на видеозаписи с наложенным визуальным анализом, чего сегодня можно добиться, используя общедоступные и простые в освоении программные средства анализа видео (например, Kinovea). Кроме того, регулярный скрининг и совершенствование техники двигательных действий гольфиста позволит избежать возникновения нежелательных травм, продлив спортивное долголетие.



А) Handicap-Index ≈ 15 ; Б) Handicap-Index $\approx 0-1$
Рисунок 3 – Области контакта тела клюшки с мячом

1. Golf science research at the beginning of the twenty-first century / M. R. Farrally [et al.] // Journal of Sports Sciences. – 2003. – № 21. – P. 753–765.

2. Wiren, G. Laws, principles and preferences – a teaching model / G. Wiren // *Science and Golf I: Proceedings of the First World Scientific Congress of Golf*. – 1st edition. – London, 2011. – P. 3–13.
3. Penner, A. R. The physics of golf / A. R. Penner // *Reports on Progress in Physics*. – 2003. – № 66. – P. 131–171.
4. Physical Determinants of Golf Swing Performance: Considerations for Youth Golfers / J. Shaw [et al.] // *Strength and Conditioning Journal*. – 2021. – P. 1–12.
5. The importance of stretching the “X-factor” in the downswing of golf: the “X-factor stretch” / P. J. Cheetham [et al.]; ed. P. R. Thomas. – General edition. – Australia, 2001. – P. 192–199.
6. Sanders, R. H. Kinematics, coordination, variability, and biological noise in the prone flutter kick at different levels of a “learn-to-swim” program / R. H. Sanders // *Journal of Sports Sciences*. – 2007. – № 25. – P. 213–227.
7. Bradshaw, E. J. Biological movement variability during the sprint start: Performance enhancement or hindrance? / E. J. Bradshaw, P. Maulder, J. W. L. Keogh // *Sports Biomechanics*. – 2007. – № 6 (3). – P. 246–260.
8. Knight, C. A. Neuromotor issues in the learning and control of golf skill / C. A. Knight // *Research Quarterly for Exercise and Sport*. – 2004. – № 75. – P. 9–15.
9. Effect of shoulder model complexity in upper-body kinematics analysis of the golf swing / M. Bourgain [et al.] // *Journal of Biomechanics*. – 2018. – № 75. – P. 154–158.
10. Bourgain, M. Analyse Biomécanique du swing de golf: Phd diss. / M. Bourgain. – Paris, 2018. – 450 p.
11. The Effect of Biological Movement Variability on the Performance of the Golf Swing in High- and Low-Handicapped Players / E. J. Bradshaw [et al.] // *Research Quarterly for Exercise and Sport*. – 2009. – № 80 (2). – P. 185–196.
12. Maturation of gait dynamics: stride-to-stride variability and its temporal organization in children / J. M. Hausdorff [et al.] // *Journal of Applied Physiology*. – 1999. – № 86. – P. 1040–1047.
13. Hume, P. Movement Analysis of the Golf Swing / P. Hume, J. W. L. Keogh; ed. M. Bertram [et al.]. – 1st edition. – Berlin, 2018. – P. 1–18.
14. Cole, M. The Biomechanics of the Modern Golf Swing: Implications for Lower Back Injuries / M. Cole, P. Grimshaw // *Sports Medicine*. – 2015. – № 46 (3). – P. 1–40.
15. Lindsay, D. M. Golf-Related Low Back Pain: A Review of Causative Factors and Prevention Strategies / D. M. Lindsay, A. A. Vandervoort // *Asian Journal of Sports Medicine*. – 2014. – № 5 (4). – P. 1–8.
16. Mackenzie, S. J. The Influence of Clubhead Mass on Clubhead and Golf Ball Kinematics / S. J. Mackenzie, B. Ryan, A. Rice // *International Journal of Golf Science*. – 2015. – № 4 (2). – P. 136–146.