

УДК 796.431.1

## **НОВЫЕ АСПЕКТЫ РЕКУПЕРАТИВНОЙ РАБОТЫ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА В ПРЫЖКАХ С РАЗБЕГА И В БЕГЕ С МАКСИМАЛЬНОЙ СКОРОСТЬЮ**

*Сергей Николаевич Павлов, кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой, Поволжский государственный университет физической культуры, спорта и туризма, Казань; Александр Терентьевич Егоров, Министерство физической культуры и спорта Чувашской Республики, Чебоксары; Наталья Александровна Егорова, Чебоксарское училище олимпийского резерва имени В.М. Краснова, Чебоксары; Марат Ильшатович Рахимов, кандидат биологических наук, доцент, Казанский (Приволжский) федеральный университет, Казань*

### **Аннотация**

Прыжок с разбега и спринтерский бег с максимальной скоростью характеризуется быстрым взаимодействием с опорной поверхностью ( $t=0,08-0,16$  секунды), что ставит под сомнение то, что источником движения является сократительная работа мышц. Мышцы просто не способны проявлять столь быстрые динамические режимы, с невероятным градиентом силы и с запредельной энергоёмкостью креатинфосфата.

Цель исследования – выявить модель работы опорно-двигательного аппарата человека в прыжковых и беговых локомоциях, с позиций рефлекторной деятельности.

Методика и организация исследования. В исследовании были использованы следующие методы: анализ научно-методической литературы, педагогическое наблюдение, математический расчет, обобщение опыта практической работы с квалифицированными прыгунами и спринтерами.

Результаты исследования и их обсуждение. В процессе исследования предложена модель работы опорно-двигательного аппарата человека в прыжковых локомоциях, с позиций рефлекторной деятельности. В прыжке в высоту способом фосбери-флоп, при действии центробежных сил, происходит мгновенное растягивание сухожилий по типу коленного рефлекса. Это вызывает поток последовательной и пространственной импульсации от основных сухожилий мышц бедра голени и стопы в двигательные центры. Этот поток проприоцептивных импульсов суммируется и при превышении пороговой величины даётся эфферентный сигнал на сокращение мышц ноги, которые деформируют сухожилия, с последующей их возвратной работой и с приданием телу подъёмной силы. Данный механизм подобен накоплению потенциала действия, с помощью защёлок у блохи, с его последующей утилизацией.

Выводы. На основании проведенного исследования можно сделать выводы о том, что динамическая структура быстрого взаимодействия с дорожкой разбега происходит в двухтактном ритме – первый такт деформация за счёт мышечных усилий, второй такт утилизация накопленной энергии деформации и приобретение подъёмной силы, за счёт дармовых сил натяжения.

**Ключевые слова:** прыжок в высоту, спринтерский бег, коленный рефлекс, лифтный рефлекс, суммация раздражений, эскалаторный трамплин, деформация.

**DOI: 10.34835/issn.2308-1961.2023.09.p313-319**

## **NEW ASPECTS OF THE RECUPERATIVE OPERATION OF THE LOCOMOTOR APPARATUS IN RUNNING JUMPS AND IN RUNNING WITH MAXIMUM SPEED**

*Sergey Nikolaevich Pavlov, candidate of biological sciences, docent, department chair, Volga Region State University of Physical Culture, Sports and Tourism, Kazan; Alexander Terentyevich Egorov, Ministry of Physical Culture and Sports of the Chuvash Republic, Cheboksary; Natalya Alexandrovna Egorova, Cheboksary School of Olympic Reserve named after V.M. Krasnov; Marat Ilshatovich Rakhimov, candidate of biological sciences, docent, Kazan (Volga Region) Federal University*

### **Abstract**

A running jump and sprinting at maximum speed are characterized by rapid interaction with the supporting surface ( $t=0.08-0.16$  seconds), which casts doubt on the fact that the source of movement is the

contractile work of the muscles. Muscles are simply not capable of such fast dynamic modes, with an incredible force gradient and with an incredible energy intensity of creatine phosphate.

The purpose of the study is to identify a model of the work of the human musculoskeletal system in jumping and running locomotion, from the standpoint of reflex activity.

Methodology and organization of the study. The following methods were used in the study: analysis of scientific and methodological literature, pedagogical observation, mathematical calculation, generalization of the experience of practical work with qualified jumpers and sprinters.

Results of the study and their discussion. In the course of the study, a model of the work of the human musculoskeletal system in hopping locomotions was proposed from the standpoint of reflex activity. In the Fosbury flop high jump, under the action of centrifugal forces, an instantaneous stretching of the tendons occurs like a knee reflex. This causes a flow of sequential and spatial impulses from the main tendons of the thigh and foot muscles to the motor centers. This flow of proprioceptive impulses is summed up and, when the threshold value is exceeded, an efferent signal is given to contraction of the leg muscles, which deform the tendons, followed by their return work and giving the body a lifting force. This mechanism is similar to the accumulation of an action potential, with the help of latches in a flea, with its subsequent disposal.

Conclusions. Based on the study, it can be concluded that the dynamic structure of rapid interaction with the runway occurs in a two-cycle rhythm – the first cycle is deformation due to muscle efforts, the second cycle is the utilization of the accumulated deformation energy and the acquisition of lifting force due to free tension forces.

**Keywords:** high jump, sprint, knee reflex, lift reflex, stimulation summation, escalator springboard, deformation.

## ВВЕДЕНИЕ

С момента изобретения прыжка способом фосбери-флоп (1968 год) было установлено 19 рекордов за 23 года – у мужчин и 21 рекорд за 16 лет – у женщин. Суммарно 40 обновлений за 39 лет. То есть практически ежегодно устанавливался новый рекорд. Но в 90-е годы прошлого столетия произошла резкая остановка, прошло более 30-ти лет и ни одного обновления.

Причина стагнации заключается в скоростно-силовой подготовке направленная на совершенствование мускульно-сократительного аппарата. По нашему мнению, именно это, в данном конкретном случае, затормозило рост рекордов мира, в частности, в прыжке в высоту.

С другой стороны, собраны многочисленные свидетельства о сверх проявлений людей, при возникновении экстремальной ситуации. Согласно этим сведениям, современный человек, при попадании в экстремальную ситуацию, способен демонстрировать неординарные физические способности. Возникает вопрос: за счёт каких механизмов возможны эти сверхпроявления?

В исследовании были использованы следующие методы: анализ научно-методической литературы, педагогическое наблюдение, математический расчет, обобщение опыта практической работы с квалифицированными прыгунами и спринтерами.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Для более полного понимания аспектов механизма прыжка человека предлагаем рассмотреть механизмы выполнения прыжковых движений представителями животного мира. Рассмотрим прыжок блохи и с позиции локомоторной абстракции перенесём это на биомеханику человека.

Первое, на что мы обратили внимание в выводах Малкольма Берроуз, это то, что мышцы не способны обеспечить столь быстрое движение, которое достигает блоха [4]. Блоха перед прыжком особым образом «запирает» сустав защёлками и накапливает энергию напряжения в эластичном белке резилине. При освобождении защёлок эта энергия вступает в действие и блоха совершает фантастический прыжок [4]. В прыжке блохи активная энергия мышц расходуется не на мышечное сокращение, а на подготовительное

действие – сжатие резилина.

Известен рефлекс, который в физиологии носит название «суммация раздражений». Ещё в 20-х годах прошлого века А.А. Ухтомский писал: «Доминирующий центр способен суммировать возбуждения» [3]. То есть двигательный аппарат человека, как и у блохи, способен накапливать потенциал действия.

Примером суммации является чихание, при котором в течении промежутка времени накапливаются множественные последовательные раздражения слизистой носа, возникающие в процессе вдыхания воздуха, загрязнённого пылевыми агентами, или аллергенами [1].

При этом отмечается, что рефлекторный ответ в 3-4 раза сильнее мышечного сокращения! Так, к примеру, скорость потока воздуха при чихании достигает 44–120 м/с, а объёмная скорость воздушного потока – 12 л/с [1]. Но даже самому подготовленному атлету более 3-4 литров в секунду выдохнуть не удастся.

Рефлекторная суммация в работе двигательного аппарата проявляется как в спорте, так и в повседневной жизни обычного человека. Существуют и другие механизмы, относящиеся к разряду статокинетических рефлексов, также принимающих участие в акте суммации раздражений: коленный рефлекс, лифтный рефлекс, а также опыт, который мы обозначили как «эскалаторный трамплин».

Пусковым механизмом коленного рефлекса является мгновенное растягивание сухожилия, путём удара молоточком по собственной связке наколенника. Возникающее раздражение от проприорецепторов по афферентным путям доходит до двигательных центров, в ответ, на который, следует эфферентная команда на сокращение мышц бедра, с последующим разгибанием ноги в коленном суставе (рисунок 1).

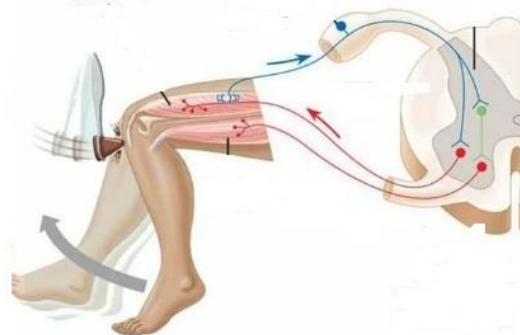


Рисунок 1 – Схема работы коленного рефлекса (по В.Г. Эрб (1875), К.Ф. Вестфаль (1875), М. Фостер (1877), [tr-page.yandex.ru](http://tr-page.yandex.ru), Коленный рефлекс – Википедия)

При разбеге по дуге действие центробежной силы ( $F_1$ ) и результирующей ( $F_{\text{resulting}}$ ), путём транзита через цитоплазму, мгновенно передаёт эту результирующую нагрузку на сухожилия (собственную связку наколенника, связку прямой мышцы бедра, связку медиальной мышцы и ахиллово сухожилие) [2]. Происходит резкое растягивание сухожилий. От рецепторов сухожилий, как и в коленном рефлексе, сигнал приходит в двигательный центр. Эти раздражения суммируются. На рисунке 2, на примере олимпийского чемпиона, трёхкратного чемпиона мира Мутаз Баршим показана модель суммации раздражений, в каждом шаге его разбега по дуге.

В физиологии отмечается, что возможна последовательная суммация, приходящая от одного и того же раздражителя, а также пространственная суммация, приходящая от нескольких раздражителей одновременно. Так при разбеге по дуге, а также в фазе, предшествующей финальной части прыжка – отскоке, идёт поток афферентных импульсов от собственной связки наколенника, связки прямой мышцы бедра, медиальной связки, ахиллова сухожилия, отолитовых рецепторов.

Обратим внимание, что мы упоминаем здесь и отолитовый аппарат. Наглядным примером может быть лифтный рефлекс. Этот рефлекс, выявленный голландским физиологом Р. Магнусом в 1924 году, проявляется в начале быстрого подъема лифта, или при резкой остановке, при движении вниз. При этом лабиринтные каналы отолитового аппарата за счёт деятельности среднего и продолговатого мозга, подают сигнал о положительном, или отрицательном вертикальном ускорении, в ответ на который мышцы опорно-двигательного

аппарата получают команду сократиться. То есть раздражающие сигналы приходят в двигательный центр не только от сухожилий, но и от вестибулярного аппарата продолговатого мозга.

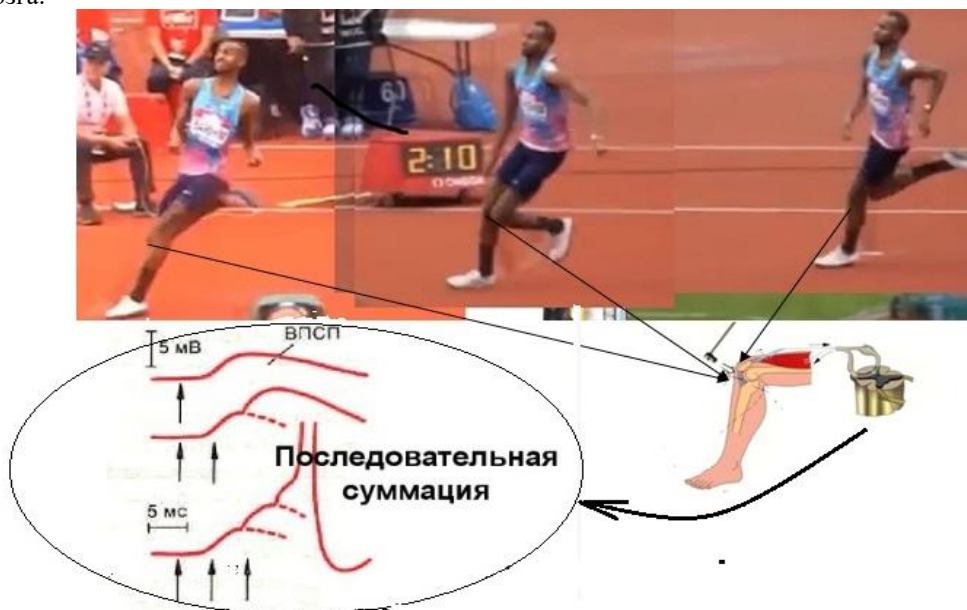


Рисунок 2 – Разбег по дуге Мутаз Баршим

Частным случаем лифтного рефлекса является опыт, который мы назвали «эскалаторный трамплин». При ускоренном сбегаании с ленты эскалатора испытывается ощущение – «ого, как упруго я выпорхнул (а)» (рисунок 3). При этом возникает ощущение, как будто, какая-то неведомая сила подбрасывает с приданием позитивной эмоции.

Скорость движения эскалаторной ленты составляет 0,75–1,05 м/с. Скорость передвижения человека, относительно ленты эскалатора если составляет 3 м/с и тогда, его суммарная скорость составит 3,75 м/с, или 4,05 м/с, при пиковой загрузке метро. В конце движения эскалаторной ленты происходит дугообразное изменение направления скольжения ленты эскалатора, что создаёт центробежную силу, которая через кондукцию и суппорт цитоплазмы рефлекторно действует на сухожилия, результатом которого является «воздушный» прыжок. Используя формулу:  $F = mV^2/r$ , где  $F$  – величина центробежной силы,  $m$  – 65 кг,  $V$  – 3,75 м/с, или 4,05 м/с,  $r=1,5$  м, получим величину действия центробежной силы, которая равна 62,7 кг (72,5 кг – при пиковой загрузке) [2]. То есть, «спешащая девушка», весом 65 кг, испытывает суммарную загрузку на отталкивающую ногу величиной 127,7 кг, или даже 137,2 кг, с которой она успешно справляется, не замечая её и даже наоборот, ощущает спортивную лёгкость и бойкость. Это двукратное увеличение нагрузки (127 кг/132 кг), выпадающие на толчковую ногу не есть обременение, а являются силой деформирующей сухожилия. По этой причине мускулы не перенапрягаются, нет также и титанической центрально-нервной импульсации от двигательных отделов коры больших полушарий! Работают не мышцы, а суппорт цитоплазмы и сухожилия, поэтому движения лёгкие и воздушные.

Отметим, что в рассматриваемых нами примерах генератором движущей силы является деформация сухожилий. Для подтверждения данного утверждения приводим пример полета футбольного мяча. Футболист разбегается и сильно бьёт по футбольному мячу (рисунок 4). Мяч пролетает расстояние 96 метров.

С помощью кинетической энергии, набранной мышцами бьющей ноги футболиста, происходит деформирование мяча, которое и посылает его почти через всё футбольное

поле.



Рисунок 3 – Проявление лёгкости при быстром сбегании с эскалатора



Рисунок 4 – Полет футбольного мяча после удара ногой с разбега

Для подтверждения этой механики прыжков, основывающейся на предварительной деформации, мы провели наблюдение за прыжками кошки и выявили, что она совершает прыжок за счёт короткого импульсивного движения, которое резко обрывается с, как бы, не завершённой амплитудой. Мы предполагаем, что коротким импульсным действием, кошка растягивает сухожилия, которые затем двигают её. То есть прыжок кошки происходит в режиме двухтактного ритма (рисунок 5). Первый такт – импульсное деформирование, который мгновенно «догоняет» второй такт – ответная работа сухожилий.

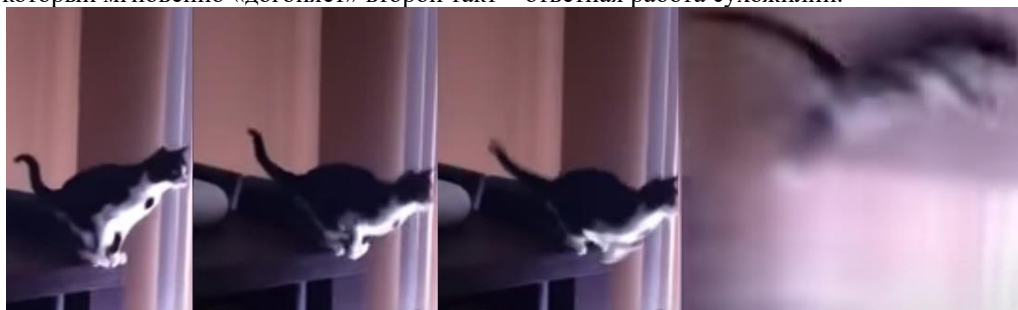


Рисунок 5 – Двухтактный режим прыжка кошки

Выводы преподавателя биомеханики из Южного методистского университета Питера Уэйанда гласят, что спринтеры бегут за счёт того, что резко ударяют ногами о землю [5]. Этим они используют свои конечности как палки пого [5], работа которой осуществляется за счёт сильной деформации пружины с последующим возвратным действием (рисунок 6). Это, опять-таки, есть пример сдвоенного ритма.



Рисунок 6 – Прыжки на пого-стик выполняемые в двухтактном ритме «деформация-ответ»

Мы сделали вычисления на примере удара по футбольному мячу и получили следующие результаты. Мышцы, брюшного пресса, прямой мышцы бедра и медиальной мышцы, разгоняют голень ( $m$ ) 3,78 кг (5,05% от веса тела футболиста = 75 кг) и стопы футболиста массой ( $m$ ) 1,07 кг (1,43% от веса тела футболиста = 75 кг) для произведения удара по мячу. В сумме их масса равна 4,85 кг. Эта масса воздействует на мяч массой 0,46 кг, со скоростью 3 м/с. Расчётная скорость вылета мяча при этом составляет 31,6 м/с, или 114 км/ч. Но реальная скорость мяча оказывается гораздо выше – 200 км/ч (рекорд составляет 250 км/ч) (рисунок 4). Двукратный прирост начальной скорости вылета мяча происходит за счёт сил деформации. При том, для двукратного усиления начальной скорости локомоции используется дармовая сила.

На основании проведённой аналитики мы предлагаем следующую модель работы опорно-двигательного аппарата человека в прыжковых локомоциях, с позиций рефлекторной деятельности – в прыжке в высоту способом фосбери-флоп, при действии центробежных сил, происходит мгновенное растягивание сухожилий по типу коленного рефлекса. Это вызывает поток последовательной и пространственной импульсации от основных сухожилий мышц бедра голени и стопы (сухожилия прямой мышцы бедра, собственной связки на колени, связки латеральной мышцы, связки медиальной мышцы, ахиллова сухожилия, связок стопы, а также от отолитового аппарата) в двигательные центры. Этот поток проприоцептивных импульсов суммируется и при превышении пороговой величины даётся эфферентный сигнал на сокращение мышцы ноги, которые деформируют сухожилия, с последующей их возвратной работой и с приданием телу подъёмной силы. Данный механизм подобен накоплению потенциала действия, с помощью защёлки у блохи, с его последующей утилизацией.

Этот двухтактный ритм, не аналогичен линейному наращиванию мощности. Графика, которую мы выявили в исследовании А.П. Стрижака [2], также свидетельствует о двухпиковом, или двухтактном режиме динамики сил. Ответом является то, что двухтактный режим в 2 раза эффективнее линейного наращивания усилий. Существующая практика подготовки прыгунов в высоту ориентирована на тренировку центрально-нервной импульсации с сокращением актомиозина, в то время как реальные прыжки совершаются на основе рефлекса. Подготовка чаще всего осуществляется на основе тренировки в режиме линейного наращивания мощности, что вдвое менее эффективно.

#### ВЫВОДЫ

1. Деформационная природа энергетика приобретения подъёмной силы помимо механической модели, основанной на деформации сухожилий, дополняется рефлекторной деятельностью, основанной на суммации раздражений. Этот механизм аналогичен работе защёлки, как в прыжке блохи.

2. Динамическая структура быстрого взаимодействия с дорожкой разбега происходит в двухтактном ритме – первый такт деформация за счёт мышечных усилий, второй такт утилизация накопленной энергии деформации и приобретение подъёмной силы, за счёт дармовых сил натяжения.

3. Двухтактный ритм, основанный на рефлексе эффективнее, что может явиться основанием для пересмотра существующей практики подготовки легкоатлетов, имеющих в основе своей специализации быстрое взаимодействие с опорной поверхностью. Поиск иных путей подготовки должен быть направлен на нахождение факторов, увеличивающих поток проприоцептивных импульсов, подверженных суммации, увеличения акцепции приходящего двигательного импульса, подбор упражнений, осуществляемых в двухтактном ритме, ориентиром для сенсорного восприятия этого механизма может являться эскалаторный трамплин.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Большая медицинская энциклопедия. [В 30 т.] Т. 27. Чиханье / главный редактор Б.В. Петровский. – 3-е изд. – Москва : Советская энциклопедия, 1986. – 576 с.

2. Егоров, А.Т. Альтернативная парадигма локомоций на примере прыжка в высоту с разбега / А.Т. Егоров, С.Н. Павлов, Е.А. Исанаева // Наука и спорт: современные тенденции. – 2020. – Т. 8, № 2. – С. 21–31.
3. Ухтомский А.А. Избранные труды / А.А. Ухтомский. – Москва : ЕЕ Медиа, 2012. – 360 с.
4. Burrows, M. Jumping mechanisms and performance of snow fleas (Mecoptera, Boreidae) / M. Burrows // *Journal of Experimental Biology*. – 2011. – Vol. 214, №. 14. – P. 2362–2374.
5. Weyand, P.G. Point: Artificial limbs do make artificially fast running speeds possible/ P.G. Weyand, M.W. Bundle // *Journal of Applied Physiology*. – 2010. – Vol. 108, №. 4. – P. 1011–1012.

#### REFERENCES

1. Petrovsky, B.V. (1986), *Big medical encyclopedia, Sneeze*, Vol. 27, 3rd ed, Soviet Encyclopedia, Moscow.
2. Egorov, A.T., Pavlov, S.N. and Isanaeva, E.A. (2020), “An alternative locomotion paradigm on the example of a high jump with a running start”, *Science and Sports: Current Trends*, Vol. 8, No.2, pp. 21–31.
3. Ukhtomsky, A.A. (2012), *Selected works*, ЕЕ Media, Moscow
4. Burrows, M. (2011). “Jumping mechanisms and performance of snow fleas (Mecoptera, Boreidae)”, *Journal of Experimental Biology*, Vol. 214 (14), pp. 2362–2374.
5. Weyand, P.G., and Bundle, M.W. (2010), “Point: Artificial limbs do make artificially fast running speeds possible”, *Journal of Applied Physiology*, Vol. 108, No. 4, pp. 1011–1012.

**Контактная информация:** Pavlov-sergej@mail.ru

*Статья поступила в редакцию 02.09.2023*

**УДК 371.39+796.012**

### **ТЕЛЕСНО-ДВИГАТЕЛЬНЫЙ ОПЫТ ДЕТЕЙ В КОНТЕКСТЕ ЦИФРОВИЗАЦИИ ОБРАЗОВАНИЯ**

*Владимир Анатольевич Пегов, кандидат педагогических наук, доцент, Анна Владимировна Матвеева, кандидат педагогических наук, Смоленский государственный университет спорта, Смоленск*

#### **Аннотация**

Внедряемая повсеместно в мире цифровизация образования (в том числе, физкультурного образования) вступает в сущностное противоречие с педагогическими целями и задачами. Это пример некритического переноса методов и средств из экономической сферы в образовательную. Попытки включения детей и подростков в практику цифрового образования зачастую игнорируют результаты исследований негативного воздействия электронных гаджетов на психосоматическое состояние подрастающего поколения. Наше исследование показывает, что, наоборот, здоровый телесно-двигательный опыт, полученный в детстве (высокая общая подвижность, участие в подвижных играх, организация двигательной активности детей со стороны родителей), способствует формированию устойчивости к разнообразному цифровому воздействию, сознательному использованию электронных гаджетов, ориентации на применение их с образовательной или профессиональной целями.

**Ключевые слова:** цифровизация образования, телесно-двигательный опыт, технологии, возрастные особенности.

**DOI: 10.34835/issn.2308-1961.2023.09.p319-322**

### **BODILY AND MOTOR EXPERIENCE OF CHILDREN IN THE CONTEXT OF DIGITALIZATION OF EDUCATION**

*Vladimir Anatolyevich Pegov, candidate of pedagogical sciences, docent, Anna Vladimirovna Matveeva, candidate of pedagogical sciences, Smolensk State University of Sports*

#### **Abstract**

Digitalization of education (including physical education), which is being implemented everywhere in the world, comes into essential contradiction with pedagogical goals and objectives. This is an example