

ПСИХОЛОГИЯ И ПЕДАГОГИКА

УДК 77.03.37:159.93

Ю.П. Бредихина, Ф.А. Гужов, Л.В. Капилевич, А.А. Ильин

ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ И БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ МЕХАНИЗМЫ КООРДИНАЦИИ УДАРНЫХ ДЕЙСТВИЙ У СПОРТСМЕНОВ-ЕДИНОБОРЦЕВ

Основой для достижения высоких результатов в спортивном карате являются точность и быстрота реализации движений в условиях постоянно меняющейся ситуации. Если учесть, что особенностью данного вида спорта также является малая сила ударных действий, то именно эффективность и рациональность управления точностью ударных движений являются физиологической основой совершенствования мастерства для этого вида спорта. В основе сложно-координационной деятельности лежит сложнейшее взаимодействие вестибулярного анализатора, системы проприоцепторов (динамический анализатор), органов зрения и нервной системы. Основой координации движений является временная и пространственная организация процессов возбуждения и торможения в мышечном аппарате, которая обеспечивает выполнение двигательной задачи. С исследованием данных механизмов во многом связывают совершенствование спортивной техники и разработку новых подходов к тренировочному процессу.

Ключевые слова: карате; удары; анализаторы; регуляция; двигательный стереотип.

Введение. В настоящее время активно изучаются механизмы перестроек физиологических систем человека под воздействием спортивной тренировки. Однако проблема физиологического обеспечения двигательных действий у спортсменов, занимающихся сложно-координационными видами спорта, остается исследованной недостаточно. При этом именно уровень управления двигательными действиями лежит в основе мастерства спортсменов [1]. Основой для достижения высоких результатов в спортивном карате являются точность и быстрота реализации движений в условиях постоянно меняющейся ситуации. Если учесть, что особенностью данного вида спорта также является малая сила ударных действий, то именно эффективность и рациональность управления точностью ударных движений является физиологической основой совершенствования мастерства для этого вида спорта [2]. С исследованием данных механизмов во многом связывают совершенствование спортивной техники и разработку новых подходов к тренировочному процессу.

Механика ударных движений в спортивных единоборствах. Сила удара зависит от поступательного и вращательных движений звеньев тела в различных суставах вокруг вертикальной оси тела. При этом вертикальной осью является позвоночник. Это наихудший, с точки зрения биомеханики, способ нанесения удара рукой. Поэтому для дополнительного увеличения силы в карате используют реверс и амплитудный бросок тела в направлении удара [3]. Реверсом является разнонаправленное движение одной части тела по отношению к другой, например, при движении правой руки вперед резко отдергивается левая, или в момент движения вперед правого плеча отдергивается назад правое бедро. Также силу удара можно усилить за счет качания основных осей тела. Но в карате данный прием не используется, так как в результате промаха каратист потеряет равновесие [4]. И одним из элементов тренировки точности и координации у спортсменов, занимающихся карате, как раз является отучение «качанию» во время удара [5].

Потеря равновесия спортсменом происходит из-за того, что удар в спортивном карате является законченным движением, имеющим начало и конец. Удар выполняется из одного определенного положения и приходит в другое, столь же определенное, соответствующее строгим требованиям. Одно из важнейших требований, предъявляемых к этим положениям, это устойчивость. Если каратист, выполнив удар, теряет равновесие, он не переходит в многократно отработанную позицию, его мозг классифицирует его собственное действие как ошибку, он выпадает из заложенной в него системы координат, построенной на определенных стойках, перемещениях, ударах, защитах. Для минимизации потерь координации в карате распространены широкие стойки с низким центром тяжести. Также особенностью каратистов при ударе является передача большой скорости ударяющему сегменту, и в результате в момент удара они взаимодействуют с ударяемым телом с большой ударной массой [6].

В ударах ногой усилия передаются сначала от стопы на голень и бедро опорной ноги, затем на таз, и только потом на бедро, голень и стопу ударной ноги. При нанесении ударов рукой усилия передаются от стопы на голень и бедро, затем на таз, туловище, плечи и, наконец, на ударную поверхность кисти. Передача усилия при выполнении ударов в прыжке происходит с толчком одной или обеих ног и далее по соответствующей кинематической цепи к ударной поверхности [7]. Таким образом, начиная с первого момента ударного действия – толчка стопой – и до заключительного – самого удара, – сила и скорость как бы нарастают в каждом звене цепи.

Следующим фактором, влияющим на эффективность удара, является жесткость. Если удар нанесен с небольшой дистанции, то такой удар называется тычком. В него вкладывается малая масса, и для достижения результата тычок должен наноситься в болевые точки тела и быть достаточно резким. Для нанесения сильного жесткого удара надо: увеличить силу удара, для этого необходимо увеличить массу, вложенную в

удар; скорость удара и уменьшать время действия удара [8]. Для увеличения массы в карате рекомендуют перенос тяжести тела на переднюю ногу и нанесение удара до постановки ноги на землю. Однако следует учитывать возможность «провала» вперед, поэтому вектор силы тяжести не должен выходить за площадь опоры после постановки ноги. Это достигается за счет удлинения шага и понижения центра тяжести (подседа).

Чтобы удар был эффективным, он должен выполняться не по цели, а за цель или внутрь цели. Волнообразный удар (например, прямой удар в боксе) начинается с толчка ноги, далее идет вращение таза, которое переходит во вращение корпуса, и в последнюю очередь выбрасывается рука. К тому моменту, когда кулак подходит к цели, ноги и корпус уже совершили большую часть своего движения, поэтому в конце удара кулак движется по траектории в основном за счет разгиба руки. Жесткость любой конструкции определяется жесткостью ее самого слабого элемента, которым в цепи нога – корпус – рука является рука, она и будет определять жесткость удара. В волнообразном ударе в конце движения рука работает в динамическом режиме, идет ее активное разгибание, это движение полностью зависит от силы мышц руки. В результате жесткость удара будет определяться исключительно силой мышц руки и не будет зависеть от возможностей наиболее мощных частей тела, ног и корпуса [9].

Увеличение скорости достигается за счет расслабления до удара. Это необходимо, чтобы мышцы-антагонисты не препятствовали атакующему действию, так как время расслабления мышцы приблизительно в 1,5–2 раза больше, чем время напряжения. Кроме того, увеличению скорости способствует последовательное включение в работу разных групп мышц, так называемая волна. Для уменьшения времени удара тело должно превратиться в жесткую систему, исключить люфт из суставов, задействованных в ударе. В карате жесткость достигается скручиванием руки в продольном направлении, опусканием локтя, реверсом другой руки, вращением таза в прямом направлении, выпрямлением «задней» ноги и жесткой опорой на пятку [10].

Координация движений при максимально сильных ударах в карате зависит от скорости ударного звена в момент соприкосновения с ударяемым телом и от увеличения ударной массы в момент удара. Это достигается «закреплением» отдельных звеньев ударяющего сегмента путем одновременного включения мышц-антагонистов и увеличения радиуса вращения. Например, в боксе и карате сила удара правой рукой увеличивается примерно вдвое, если ось вращения проходит вблизи левого плечевого сустава, по сравнению с ударами, при которых ось вращения совпадает с центральной продольной осью тела. Время удара настолько кратковременно, что исправить допущенные ошибки уже невозможно. Поэтому точность удара в решающей мере обеспечивается правильными действиями при замахе и ударном движении [11].

Нейрофизиологические механизмы координации ударных движений спортсменов. Возможность

выполнять сложно-координационную деятельность спортсмену позволяют физиологические механизмы, ответственные за саморегуляцию двигательной деятельности [12, 13]. Для того чтобы совершилось движение, необходимо поставить цель достичь конечного результата, удовлетворить какую-либо потребность. Движение также должно быть целенаправленным. По теории П.К. Анохина, для достижения цели и получения конечного результата необходимо активировать организм. При этом надо активировать не все структуры организма, а только те, которые необходимы для достижения конечного результата, – так называемую функциональную систему. Такое взаимодействие П.К. Анохин назвал взаимодействием [14].

По мнению Н.А. Берштейна, для эффективного выполнения двигательного действия необходимо уменьшить количество степеней свободы в мышцах и суставах [15]. Каждый элемент нашего организма, каждая «функциональная система» имеет набор свойств. Для выполнения определенного действия требуется, как правило, только часть свойств системы. И чем более тренирован спортсмен, тем более успешно он справляется с отключением ненужных свойств системы для выполнения определенного двигательного акта – степеней свободы. Такое явление называется освобождением от избыточных степеней свободы [16].

Основываясь на этих выкладках, Н.А. Берштейн предложил понимать под координационными способностями способность снижать степени свободы в различных суставах. Например, кисть человека может совершать движения в трех плоскостях и шести направлениях, когда же требуется движение кисти только в одном направлении, необходимо убрать все лишние степени свободы (направления движения), что выполняется с помощью соответствующего напряжения и расслабления мышц [17, 18].

Таким образом, когда в выполнение движения включаются те элементы и их свойства, которые необходимы для достижения цели, и выключаются мешающие им элементы и свойства, происходит формирование функциональной системы, направленной на достижение цели. Также функциональной системой можно назвать постепенное сочетание определенных компонентов, взаимодействие и взаимоотношение которых направлено на получение фиксированного полезного результата. Несмотря на разнообразие, организацию и отличия в количестве составляющих элементов, все функциональные системы имеют принципиально одинаковую функциональную архитектуру и принципы функционирования, под которыми понимаются определенные законы последовательной деятельности подсистем с целью получения необходимого результата [19–21].

Афферентный синтез, подчиняясь доминирующей в данный момент мотивации и под коррекцией памяти, ведет такой подбор возможных степеней свободы, при котором возбуждения избирательно направляются к мышцам, совершающим нужное действие [22, 23]. Для выполнения этой задачи в ЦНС формируется группа нервных центров – функциональная система.

Вначале формируется замысел движения, который в дальнейшем переходит в программу. В формировании замысла большая роль принадлежит обстановочной афферентации, мотивации, памяти – самым разнообразным отделам ЦНС, таким как ассоциативные, сенсорные, лимбические и др.

В реализации программы будущего движения участвуют все «этажи» моторных центров ЦНС, начиная от двигательной области коры больших полушарий и до мотонейронов спинного мозга. Чем сложнее движение, тем большее количество моторных центров его организует [24]. До 60-х гг. XX в. единственным центром ЦНС, ответственным за координацию движений, считался мозжечок. В дальнейшем исследования показали, что животные с удаленным мозжечком могут совершать простейшие движения в случае сохранения у них среднего мозга и вестибулярного аппарата. Удаление же этого центра приводило к расстройству двигательных функций: мышцы плохо сокращались, становились вялыми, походка становилась шаткой и неуверенной, наблюдался тремор головы и конечностей. Однако через две недели после удаления мозжечка нарушения почти бесследно исчезали [25].

В настоящее время доказано, что элементарные координации протекают на спинальном уровне и включают в себя довольно обширные функции. Нервные механизмы ствола мозга существенно обогащают двигательные программы, отвечая за наиболее эффективную позу тела в пространстве за счет шейных, спинальных и лабиринтных рефлексов и отвечая за оптимальное распределение мышечного тонуса [26]. За регуляцию и построение движений отвечают высшие двигательные центры. Мозжечок отвечает за такие качества, как точность и плавность движений, произвольное расслабление мышц с помощью регуляции временных, скоростных и пространственных характеристик движения [27]. Ядра таламуса участвуют в передаче информации в ядра коры головного мозга от рецепторов, информирующих человека об окружающем мире и его положении в нем.

Регуляция наиболее сложных координационных качеств осуществляется на уровне полушарий мозга (кора и базальные ядра). Полушария обеспечивают реализацию двигательных реакций, приобретенных в течение жизни. Осуществление этих реакций зависит от работы рефлекторного аппарата ствола мозга и спинного мозга, функционирование которых многократно обогащается деятельностью высших отделов центральной нервной системы [28]. В коре головного мозга выделяют первичную (прецентральная извилина) и вторичную (премоторная кора и кора верхней лобной извилины) моторные зоны. Раздражение первичной моторной коры вызывает сокращение мышц противоположной стороны тела (для мышц головы сокращение может быть билатеральное). При поражении данной корковой зоны человек утрачивает способность к тонким координационным движениям конечностями, в первую очередь к движениям пальцами рук. В функциональном плане вторичная моторная зона имеет главенствующее значение по отношению к первичной

двигательной коре, осуществляя высшие двигательные функции, связанные с планированием и координацией произвольных движений [29, 30].

Таким образом, система регуляции движений является многоуровневой. Между различными отделами нервной системы существуют циклические взаимодействия, в образовании которых принимают участие не только двусторонние межцентральные связи, но и обратная афферентация от различных рецепторов [31].

Форма участия мышц в осуществлении двигательных актов весьма многообразна. Анатомическая классификация мышц (например, сгибатели и разгибатели, синергисты и антагонисты) не всегда соответствует функциональной роли мышц в движениях. Так, некоторые двухсуставные мышцы в одном суставе участвуют в сгибании, в другом – в разгибании. Для более точного выполнения двигательной задачи антагонист может возбуждаться одновременно с агонистом. В связи с этим, учитывая функциональный аспект мышечной координации, в каждом конкретном двигательном акте целесообразно выделить основную мышцу (основной двигатель), вспомогательные мышцы (синергисты и другие мышцы, помогающие выполнить двигательную задачу) и стабилизаторы (мышцы, фиксирующие суставы, которые не участвуют в движении) [32].

Роль афферентных систем в координации ударных движений спортсменов. Большое значение для воплощения программы в конкретный результат, выполнение конкретного движения, достижение поставленной цели имеет обратная афферентация, идущая по различным каналам. Прежде всего, это происходит через афференты мышц, суставов, т.е. сенсорные механизмы самого двигательного аппарата. Однако немаловажное значение имеет и афферентация от таких, казалось бы, далеких от моторной системы рецепторов, как зрение и слух. Особенно важное значение сиюминутная обратная связь имеет при регуляции медленных движений, когда есть время для исправления самой программы в ходе ее осуществления. Но если при выполнении быстрых движений обратная связь не успевает скорректировать программу в период самого движения, то обратная афферентация, помогая оценить результат, способствует обучению движениям, и при повторных выполнениях (тренировке) движения становятся более точными. Это означает, что сама программа стала более точной [33].

Для достижения поставленной цели вначале происходит «считывание» информации об окружающей среде, о положении самого человека в данный момент. Получение данной информации происходит с помощью сенсорных механизмов [34]. Значение каждого сенсора в управлении движениями менялось на протяжении всего времени их изучения. В начале XX в. основную роль отводили вестибулярному аппарату. В дальнейшем такие ученые, как А.В. Лебединский и Л.А. Орбели, высказывались за ведущую роль зрительного анализатора. В более поздних работах главенствовала идея о значительной роли органов проприоцептивной чувствительности в регуляции вертикальной позы и прямохождения [35].

Благодаря проприоцепторам суставов, сухожилий, связок и мышц происходит изменение мышечного напряжения, растягивание сухожилий и мышц. И в результате этого возможно уточнение и коррекция движений в соответствии с текущими потребностями выполнения произвольного действия [36]. На сегодняшний момент ученые поддерживают теорию взаимодействия всех сенсорных систем организма. В опорном положении ведущую роль играют вестибулярный и зрительный анализаторы. В безопорных положениях (в невесомости, при прыжках) ведущая роль принадлежит проприоцептивной чувствительности [37].

Таким образом, в основе сложно-координационной деятельности лежит сложнейшее взаимодействие вестибулярного анализатора, системы проприоцепторов (динамический анализатор), органов зрения и нервной системы. Взаимодействие механизмов, обеспечивающих координацию, происходит на самых разнообразных уровнях центральной нервной системы: в спинном мозге, стволе мозга, мозжечке, коре больших полушарий, куда поступает информация от проприоцепторов, вестибулярного и зрительного анализаторов. Несмотря на многочисленные исследования, посвященные изучению системы поддержания равновесия и координации, до сих пор отсутствует единая точка зрения на механизмы функционирования данной системы и значение отдельных её компонентов в удержании равновесия тела и координации движений [38].

Заключение. Управление координационными способностями человека происходит через нервную систему в результате сложного взаимодействия различных отделов ЦНС на основе как врожденных, так и выработанных связей, с участием многочисленных рецепторных систем. Основой координации движений является временная и пространственная организация процессов возбуждения и торможения в мышечном

аппарате, которая обеспечивает выполнение двигательной задачи [39]. Большое количество степеней свободы обеспечивает чрезвычайно многообразие двигательных возможностей, но при этом делает управление движениями весьма сложным. В каждом движении используются лишь некоторые из степеней свободы, но ЦНС должна постоянно контролировать (ограничивать) все остальные [40, 41].

На достижение конечной цели (выполнение определенного движения) влияют не только силы, развиваемые мышцами, но и силы инерции участков тела, вовлекаемых в движение, эластическое сопротивление мышц-антагонистов и связок. При выполнении любого движения происходит смещение различных звеньев двигательного аппарата и изменяется положение тела, а следовательно, по ходу движения изменяются моменты упомянутых сил. Вследствие изменения суставных углов меняются и моменты мышечных сил. На ход движения влияет сила тяжести звеньев тела, моменты которой также меняются в процессе движения. Поэтому для эффективного выполнения движения необходима коррекция, по ходу движения основанная на показателях рецепторов [42].

Таким образом, управление движениями зависит от двух основных механизмов. Первый механизм заключается в формировании определенной пространственно-временной структуры возбуждения мышц, соответствующей данной двигательной задаче и исходному положению двигательного аппарата, зависящей от врожденных связей и связей, выработанных в процессе предыдущего двигательного опыта. Второй механизм заключается во внесении коррекции в первоначальную структуру мышечного возбуждения. Для характеристики этих двух механизмов используют терминологию кибернетики, называя первый программой, а второй – коррекциями на основе обратных связей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Балюк В.Г. Взаимосвязь и значимость основных нейродинамических характеристик спортсменов различной специализации и квалификации : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Архангельск, 2009. 20 с.
2. Алхасов Д.С. Структура технической подготовки в карате // Теория и практика физической культуры. 2012. № 7. С. 75–78.
3. Вагин А.Ю., Пьянчиков В.С. Сравнительный биомеханический анализ различных видов ударов ногами в единоборствах // Теория и практика физической культуры. 2012. № 3. С. 69–70.
4. Еганов В.А., Олин С.В. Формирование защитных технико-тактических действий в ударных видах единоборств // Теория и практика физической культуры. 2012. № 4. С. 70–71.
5. Chaabène H., Franchini E., Miarka B., Mkaouer B., Chamari K. Time-motion analysis and physiological responses to karate official combat sessions: Is there a difference between winners and defeated karatekas? // Source of the Document International Journal of Sports Physiology and Performance. 2014. 9 (2). P. 302–308.
6. Садовски Е. Основы тренировки координационных способностей в восточных единоборствах. Белая Подляска, 2000. 415 с.
7. Blažević S. The effect of motor abilities on karate performance / S. Blažević, R. Katić, D. Popović // Collegium Antropologicum. 2006. 30 (2). P. 327–333.
8. Колесник И.С. Управление развитием ведущих двигательных координаций в боксе. М. : Теория и практика физической культуры и спорта, 2005. 173 с.
9. Зинурова Н.Г., Денисов К.Г., Кузиков М.М. Показатели статокINETической устойчивости спортсменов при адаптации к сложно-координационным нагрузкам // Вестник ЮУрГУ. Сер. Образование, здравоохранение, физическая культура. 2011. Вып. 28, № 26 (243). С. 127–130.
10. Chaabène H., Hachana Y., Franchini E., Mkaouer B., Chamari K. Physical and physiological profile of elite karate athletes // Sports Medicine. 2012. 42 (10). P. 829–843.
11. Iide K., Imamura H., Yoshimura Y., Miyamoto N., Moriwaki C. Physiological responses of simulated karate sparring matches in young men and boys // Journal of Strength and Conditioning Research. 2008. 22 (3). P. 839–844.
12. Алфимов М.Н. Биологические критерии эффективности коррекции нервно-мышечного дисбаланса мышц нижних конечностей у высококвалифицированных спортсменов : дис. ... канд. биол. наук. М., 2011. 137 с.
13. Gerasimenko Y., Gorodnichev R., Machueva E. et al. Novel and direct access to the human locomotor spinal circuitry // J. Neuroscience. 2010. 30(10). P. 3700–3708.
14. Анохин П.К. Узловые вопросы теории функциональной системы. М. : Наука, 1980. 197 с.

15. Бернштейн Н.А. Физиология движений и активности. М. : Наука, 1990. 350 с.
16. Вагин А.Ю. Биомеханические критерии рациональности и эффективности техники ударных действий в карате : автореф. дис. ... канд. пед. наук. М., 2009. 24 с.
17. Corbetta M. Functional connectivity and neurological recovery // *Dev Psychobiol.* 2012. 54(3). P. 239–253.
18. Шмидт Р., Визендангер М. Двигательные системы // Физиология человека. М., 2005. Т. 1. С. 88–128.
19. Елисеев Е.В. Помехоустойчивость движений спортсмена: структура, механизмы, адаптация. Челябинск : Экодом, 2003. 236 с.
20. Капилевич Л.В. Физиологические координации движений в безопорном положении у спортсменов // Теория и практика физической культуры. 2012. № 7. С. 45–48.
21. Капилевич Л.В., Бредихина Ю.П. Координация парных двигательных действий у спортсменов (на примере спортивных балльных танцев) // Бюллетень сибирской медицины. 2013. № 2. С. 204–210.
22. Григорьев А.И., Козловская И.Б., Шенкман Б.С. Роль опорной афферентации в организации тонической мышечной системы // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2004. Т. 90, № 5. С. 508–521.
23. Козловская И.Б. Опорная афферентация в контроле тонической мышечной активности // Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова. 2004. Т. 90, № 8. С. 418–419.
24. Ланская О.В., Андриянова Е.Ю. Исследование спинально-моторных проекций мышц нижних конечностей под влиянием долговременной адаптации к спортивной деятельности // ЛФК и спортивная медицина. 2011. № 6. С. 34–39.
25. Управление движениями – Основы психофизиологии / отв. ред. Ю.И. Александров. М. : Инфра-М, 1997. 340 с.
26. Илларионова А.В. Особенности биоэлектрической активности мышц при исследовании точности дозированных усилий у спортсменов // Вестник науки Сибири. 2014. № 4 (14). С. 234–240.
27. Коваленко Е.В., Бойко А.В. Особенности долговременной адаптации спортсменов, специализирующихся в карате // Фундаментальные исследования. 2013. № 11. С. 205–210.
28. Кузиков М.М. Особенности функционального состояния сердечной системы и статокинетической устойчивости спортсменов, занимающихся ушу : автореф. дис. ... канд. биол. наук. Челябинск, 2013. 23 с.
29. Базанова О.М. Вариабельность индивидуальных характеристик альфа-активности электроэнцефалограммы и сенсомоторная интеграция : автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Новосибирск, 2009. 39 с.
30. Manto M., Oulad ben Taib N., Luft A.R. Modulation of excitability as an early change leading to structural adaptation in the motor cortex // *J. Neuro. Sci.* 2006. № 83(2). P. 177–180.
31. Капилевич Л.В. Физиологический контроль технический подготовленности спортсменов // Теория и практика физической культуры, 2010. № 11. С. 12–15.
32. Григорьев А.И., Шенкман Б.С. Скелетная мышца в безопорном мире // Вестник РАН. 2008. Т. 78(4). С. 337–345.
33. Baudry S., Maerz A.H., Enoka R.M. Presynaptic modulation of Ia afferents in young and old adults when performing force and position control // *J. Neurophysiol.* 2010. 103(2). P. 623–631.
34. Sbriccoli P., Camomilla V., Di Mario A., Figura F., Felici F. Neuromuscular control adaptations in elite athletes: The case of top level karateka // *European Journal of Applied Physiology.* 2010. 108 (6). P. 1269–1280.
35. Kozlovskaya I.B., Sayenko I.V., Sayenko D.G., Miller T.F., Khusnudinova D.R., Melnik K.A. Role of support afferentation in control of the tonic muscle activity // *Acta Astronautica.* 2007. Vol. 60. P. 285–294.
36. Коваленко Е.В. Сравнительный анализ состояния вестибулярной сенсорной системы в различных видах восточных единоборств // Проблемы развития физической культуры и спорта в новом тысячелетии. 2014. Т. 1, № 1. С. 147–150.
37. Martinez De Quel O., Bennett S.J. Kinematics of self-initiated and reactive karate punches // *Source of the Document Research Quarterly for Exercise and Sport.* 2014. 85 (1). P. 117–123.
38. Pozo J.L., Bastien G., Dierick F. Execution time, kinetics, and kinematics of the mae-geri kick: Comparison of national and international standard karate athletes // *Journal of Sports Sciences.* 2011. 29 (14). P. 1553–1561.
39. Лях В.И. Координационные способности: диагностика и развитие. М. : ТВТ Дивизион, 2006. 290 с.
40. Лях В.И., Румба О.Г., Горелов А.А. Критерии и методы исследования двигательной активности человека // Теория и практика физической культуры. 2013. № 10. С. 99–104.
41. Лях В.И., Садовский Е. О концепциях, задачах, месте и основных положениях координационной подготовки в спорте // Теория и практика физической культуры. 1999. № 5. С. 40–46.
42. Немцов О.Б. Теоретические основы точности движений // Вестник Адыгейского государственного университета. 2005. № 1. С. 34–45.

Статья представлена научной редакцией «Психология и педагогика» 10 марта 2015 г.

PHYSIOLOGICAL AND BIOMECHANICAL MECHANISMS OF SHOCK ACTION COORDINATION IN COMBAT SPORTS

Tomsk State University Journal, 2015, 394, 194-200. DOI 10.17223/15617793/394/32

Bredikhina Yulia P. Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: u2000@yandex.ru

Guzhov Fedor A. Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: fedorguzhov@mail.ru

Kapilevich Leonid V. Tomsk State University, Tomsk Polytechnic University (Tomsk, Russian Federation). E-mail: kapil@yandex.ru

Ilyin Alexandr A. Tomsk State University of Control Systems and Radioelectronics (Tomsk, Russian Federation). E-mail: sport@rk.tusur.ru

Keywords: karate; strike; analyzer; regulation; motor stereotype.

Currently the mechanisms of human physiological system rearrangements under the influence of sports training are actively studied. However, the problem of physiological support of motor actions in athletes engaged in complex-coordinating sports remains insufficiently studied. In this case, it is the level of control over motor actions is at the core skills of athletes. The power of the strike depends on the translational and rotational motions in different parts of the body joints around the vertical axis of the body. The vertical axis is the spine. This is the worst, in terms of biomechanics, way of a hand strike. Therefore, to further increase the strength, karate uses reverse and amplitude throw of the body in the direction of the strike. Another factor influencing the effectiveness of the strike is rigidity. To strike hard it is necessary to increase the force of impact, it is necessary to increase the mass of the strike, its speed, and to decrease its time. The increase in speed is achieved by relaxing before the strike. This is necessary so that the muscles-antagonists do not interfere with the action of the attacker, as the muscle relaxation time is about 1.5–2 times greater than the tension time. Coordination of movements at the maximum strikes in karate depends on the speed of the shock level at the time of the contact with the body struck. The athlete's ability to perform complex-coordination activities is due to the physiological mechanisms respon-

sible for the self-regulation of motor activity. Currently, it is proved that basic coordination occurs at the spinal level, and includes fairly extensive functions. Neural mechanisms of the brain stem significantly enrich the motor program, responsible for the most effective position of the body in space due to cervical, spinal and labyrinth reflexes and for the optimal distribution of muscle tonus. Higher motor centers are responsible for the regulation and organization of moves. Thus, the system of move regulation is multilevel. The various divisions of the nervous system interact, which involves not only bilateral intercentral connections, but also reverse afferent impulses from different receptors. Of great importance for a particular result, for a particular move, for achievement of the goal is reverse afferentation, going through various channels. First of all, it occurs through afferents of muscles, joints, i.e. sensory mechanisms of the musculoskeletal system. No less important is the afferent impulses from such seemingly far from the motor system receptors, as sight and hearing. The core of complex-coordination activities is a complex interaction of the vestibular analyzer and proprioceptors (dynamic analyzer), eyes and nervous system. Thus, motion control depends on two main mechanisms. The first mechanism is the formation of a certain space-time structure of muscle activation corresponding to the given motor task and the initial position of the motor apparatus which depends on innate connections and relationships developed in the course of the previous motor experience. The second mechanism involves making corrections to the original structure of muscle activation. To characterize these two mechanisms the terminology of cybernetics is used: the first mechanism is called a program, the second correction based on a feedback.

REFERENCES

1. Balyuk V.G. *Vzaimosvyaz' i znachimost' osnovnykh neyrodinamicheskikh kharakteristik sportsmenov razlichnoy spetsializatsii i kvalifikatsii*: avtoref. dis. kand. biol. nauk [The relationship and the importance of the main neurodynamic characteristics of athletes of various specializations and qualifications. Abstract of Biology Cand. Diss.]. Arkhangel'sk, 2009. 20 p.
2. Alkhasov D.S. *Struktura tekhnicheskoy podgotovki v karate* [The structure of technical training in karate]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, 2012, no. 7, pp. 75–78.
3. Vagin A.Yu., P'yannikov V.S. *Sravnitel'nyy biomekhanicheskiy analiz razlichnykh vidov udarov nogami v edinoborstvakh* [Comparative biomechanical analysis of different types of strikes in martial arts]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, 2012, no. 3, pp. 69–70.
4. Eganov V.A., Olin S.V. *Formirovanie zashchitnykh tekhniko-takticheskikh deystviy v udarnykh vidakh edinoborstv* [Formation of protective technical and tactical actions in shock types of martial arts]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, 2012, no. 4, pp. 70–71.
5. Chaabène H., Franchini E., Miarka B., Mkaouer B., Chamari K. Time–motion analysis and physiological responses to karate official combat sessions: Is there a difference between winners and defeated karatekas? *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 2014, 9 (2), pp. 302–308. DOI: 10.1123/ijsp.2012-0353
6. Sadovskiy E. *Osnovy trenirovki koordinatsionnykh sposobnostey v vostochnykh edinoborstvakh* [Fundamentals of coordination abilities training in martial arts]. Belaya Podlyaska, 2000. 415 p.
7. Blažević S., Katić R., Popović D. The effect of motor abilities on karate performance. *Collegium Antropologicum*, 2006, 30 (2), pp. 327–333.
8. Kolesnik I.S. *Upravlenie razvitiem vedushchikh dvigatel'nykh koordinatsiy v bokse* [Managing the development of leading motor coordination in boxing]. Moscow: Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury i sporta Publ., 2005. 173 p.
9. Zinurova N.G., Denisov K.G., Kuzikov M.M. Pokazateli statokinicheskoy ustoychivosti sportsmenov pri adaptatsii k slozhno-koordinatsionnym nagruzkam [Indicators of statokinetic stability of athletes in adapting to complex coordination loads]. *Vestnik Yuzhno-Ural'skogo gosudarstvennogo universiteta. Ser. Obrazovanie, zdravookhranenie, fizicheskaya kul'tura – Bulletin of the of South Ural State University. Series "Education, Health Care, Physical Education"*, 2011, is. 28, no. 26 (243), pp. 127–130.
10. Chaabène H., Hachana Y., Franchini E., Mkaouer B., Chamari K. Physical and physiological profile of elite karate athletes. *Sports Medicine*, 2012, 42 (10), pp. 829–843. DOI: 10.2165/11633050-000000000-00000
11. Iide K., Imamura H., Yoshimura Y., Miyamoto N., Moriwaki C. Physiological responses of simulated karate sparring matches in young men and boys. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 2008, 22 (3), pp. 839–844. DOI: 10.1519/JSC.0b013e31816a5af6
12. Alfimov M.N. *Biologicheskie kriterii effektivnosti korrektsii nervno-myshechnogo disbalansa myshts nizhnykh konechnostey u vysokokvalifitsirovannykh sportsmenov*: dis. kand. biol. nauk [Biological criteria of correction efficiency of neuromuscular imbalances muscles of the lower extremities in elite athletes. Biology Cand. Diss.]. Moscow, 2011. 137 p.
13. Gerasimenko Y., Gorodnichev R., Machueva E. et al. Novel and direct access to the human locomotor spinal circuitry. *J. Neuroscience*, 2010, 30(10), pp. 3700–3708. DOI: 10.1523/JNEUROSCI.4751-09.2010
14. Anokhin P.K. *Uzlovye voprosy teorii funktsional'noy sistemy* [Central questions of the theory of functional systems]. Moscow: Nauka Publ., 1980. 197 p.
15. Bernshhteyn N.A. *Fiziologiya dvizheniy i aktivnosti* [The physiology of movements and activity]. Moscow: Nauka Publ., 1990. 350 p.
16. Vagin A.Yu. *Biomekhanicheskie kriterii ratsional'nosti i effektivnosti tekhniki udarnykh deystviy v karate*: avtoref. dis. kand. ped. nauk [Biomechanical criteria of rationality and efficiency of shock actions in karate. Abstract of Pedagogy Cand. Diss.]. Moscow, 2009. 24 p.
17. Corbetta M. Functional connectivity and neurological recovery. *Dev Psychobiol.*, 2012, 54(3), pp. 239–253. DOI: 10.1002/dev.20507
18. Schmidt R. (ed.) *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology]. Moscow: Mir Publ., 2005. V. 1, pp. 88–128.
19. Eliseev E.V. *Pomekhoustoychivost' dvizheniy sportsmena: struktura, mekhanizmy, adaptatsiya* [Immunity of athlete's movements: structure, mechanisms and adaptation]. Chelyabinsk: Ekodom Publ., 2003. 236 p.
20. Kapilevich L.V. *Fiziologicheskie koordinatsii dvizheniy v bezopornom polozhenii u sportsmenov* [Physiological coordination of athletes' movements in unsupported position]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, 2012, no. 7, pp. 45–48.
21. Kapilevich L.V., Bredikhina Yu.P. Pair motor coordination action in sports men (on the example of ballroom dancing). *Byulleten' sibirskoy meditsiny – Bulletin of Siberian Medicine*, 2013, v. 12, no. 2, pp. 204–210. (In Russian).

22. Grigor'ev A.I., Kozlovskaya I.B., Shenkman B.S. Rol' opornoy afferentatsii v organizatsii tonicheskoy myshechnoy sistemy [The role of supporting afferentation in the organization of tonic muscular system]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. I.M. Sechenova – Russian Journal of Physiology*, 2004, v. 90, no. 5, pp. 508–521.
23. Kozlovskaya I.B. Opornaya afferentatsiya v kontrole tonicheskoy myshechnoy aktivnosti [Support afferentation in control of tonic muscular activity]. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. I.M. Sechenova – Russian Journal of Physiology*, 2004, v. 90, no. 8, pp. 418–419.
24. Lanskaya O.V., Andriyanova E.Yu. Issledovanie spinal'no-motornykh proektsiy myshts nizhnikh konechnostey pod vliyaniem dolgovremennoy adaptatsii k sportivnoy deyatel'nosti [Research of the spinal-motor projections of muscles of the lower limbs under the influence of long-term adaptation to sporting activities]. *Lechebnaya fizkul'tura i sportivnaya meditsina*, 2011, no. 6, pp. 34–39.
25. Aleksandrov Yu.I. (ed.) *Upravlenie dvizheniyami – Osnovy psikhofiziologii* [Motion control – Basics of psychophysiology]. Moscow: Infra-m Publ., 1997. 340 p.
26. Illarionova A.V. Osobennosti bioelektricheskoy aktivnosti myshts pri issledovanii tochnosti dozirovannykh usilii u sportsmenov [Features of bioelectrical activity of muscles in the study of the accuracy of dosage effort in athletes]. *Vestnik nauki Sibiri – Siberian Journal of Science*, 2014, no. 4 (14), pp. 234–240.
27. Kovalenko E.V., Boyko A.V. Characteristics of long-term adaptation of athletes which are specializing in karate. *Fundamental'nye issledovaniya – Fundamental Research*, 2013, no. 11 (2), pp. 205–210. (In Russian).
28. Kuzikov M.M. *Osobennosti funktsional'nogo sostoyaniya serdechnoy sistemy i statokineticheskoy ustoychivosti sportsmenov, zanimayushchikhsya ushu*: avtoref. kand. biol. nauk [Features of the functional state of the heart system and statokinetic stability of athletes involved in martial arts. Abstract of Biology Cand. Diss.]. Chelyabinsk, 2013. 23 p.
29. Bazanova O.M. *Variabel'nost' individual'nykh kharakteristik al'fa-aktivnosti elektroentsefalogrammy i sensomotornaya integratsiya*: avtoref. dis. d-ra biol. nauk [The variability of the individual characteristics of EEG alpha activity and sensorimotor integration. Abstract of Biology Dr. Diss.]. Novosibirsk, 2009. 39 p.
30. Manto M., Oulad ben Taib N., Luft A.R. Modulation of excitability as an early change leading to structural adaptation in the motor cortex. *J. Neuro. Sci. Res.*, 2006, no. 83(2), pp. 177–180.
31. Kapilevich L.V. Fiziologicheskiy kontrol' tekhnicheskoy podgotovlennosti sportsmenov [Physiological control of the technical readiness of athletes]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, 2010, no. 11, pp. 12–15.
32. Grigor'ev A.I., Shenkman B.S. Skeletnaya myshtsa v bezopornom mire [Skeletal muscle in the unsupported world]. *Vestnik Rossiyskoy akademii nauk*, 2008, v. 78(4), pp. 337–345.
33. Baudry S., Maerz A.H., Enoka R.M. Presynaptic modulation of Ia afferents in young and old adults when performing force and position control. *J. Neurophysiol.*, 2010, 103(2), pp. 623–631. DOI: 10.1152/jn.00839.2009
34. Sbriccoli P., Camomilla V., Di Mario A., Figura F., Felici F. Neuromuscular control adaptations in elite athletes: The case of top level karateka. *European Journal of Applied Physiology*, 2010, 108 (6), pp. 1269–1280. DOI: 10.1007/s00421-009-1338-5
35. Kozlovskaya I.B., Sayenko I.V., Sayenko D.G., Miller T.F., Khusnutdinova D.R., Melnik K.A. Role of support afferentation in control of the tonic muscle activity. *Acta Astronautica*, 2007, v. 60, pp. 285–294. DOI: 10.1016/j.actaastro.2006.08.010
36. Kovalenko E.V. Sravnitel'nyy analiz sostoyaniya vestibulyarnoy sensornoy sistemy v razlichnykh vidakh vostochnykh edinoborstv [Comparative analysis of the vestibular sensory system in different kinds of martial arts]. *Problemy razvitiya fizicheskoy kul'tury i sporta v novom tysyacheletii*, 2014, v. 1, no. 1, pp. 147–150.
37. Martinez De Quel O., Bennett S.J. Kinematics of self-initiated and reactive karate punches. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 2014, 85 (1), pp. 117–123.
38. Pozo J.L., Bastien G., Dierick F. Execution time, kinetics, and kinematics of the mae-geri kick: Comparison of national and international standard karate athletes. *Journal of Sports Sciences*, 2011, 29 (14), pp. 1553–1561.
39. Lyakh V.I. *Koordinatsionnye sposobnosti: diagnostika i razvitie* [Coordination abilities: diagnostics and development]. Moscow: TVT Divizion Publ., 2006. 290 p.
40. Lyakh V.I., Rumba O.G., Gorelov A.A. Kriterii i metody issledovaniya dvigatel'noy aktivnosti cheloveka [Criteria and methods of human motor activity research]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, 2013, no. 10, pp. 99–104.
41. Lyakh V.I., Sadovskiy E. O kontseptsiyakh, zadachakh, meste i osnovnykh polozheniyakh koordinatsionnoy podgotovki v sporte [Concepts, objectives, role and main provisions of coordination training in sports]. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, 1999, no. 5, pp. 40–46.
42. Nemtsev O.B. Teoreticheskie osnovy tochnosti dvizheniy [Theoretical foundations of precise movements]. *Vestnik Adygeyskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2005, no. 1, pp. 34–45.

Received: 10 March 2015