НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ
НАУКА И МИРОВОЗЗРЕНИЕ

УДК-612.8

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ НЕРВНОЙ И НЕРВНО-МЫШЕЧНОЙ СИСТЕМ СПОРТСМЕНОВ

Джоллыев Мерген
Преподаватель, Туркменский государственный институт физической культуры и спорта
г. Ашхабад Туркменистан

Аннотация

В статье рассматриваются основные методы исследования нервной и нервно-мышечной систем спортсменов, применяемые для изучения механизмов двигательной деятельности, оценки функционального состояния организма и анализа адаптации к физическим нагрузкам. Раскрываются физиологические основы управления движениями, особенности взаимодействия центральной нервной системы, периферических нервов и скелетной мускулатуры. Особое внимание уделяется электромиографии, электронейромиографии, электроэнцефалографии, исследованию сухожильных и спинальных рефлексов, транскраниальной магнитной стимуляции, оценке двигательной координации и нервно-мышечного утомления. Анализируются возможности применения перечисленных методов в различных спортивных дисциплинах, при планировании тренировочного процесса и восстановлении после физических перегрузок. Отдельно рассматриваются требования к организации исследований, достоверности измерений и интерпретации полученных результатов. Обосновывается необходимость комплексного подхода, при котором нейрофизиологические показатели рассматриваются совместно с данными о физической подготовленности, двигательной технике и индивидуальных особенностях спортсмена.

Ключевые слова: нервная система, нервно-мышечная система, спортсмены, электромиография, электроэнцефалография, рефлекторная деятельность, двигательная координация, нервно-мышечное утомление.

Значение исследования нервной системы в спортивной деятельности

Спортивная деятельность предъявляет высокие требования не только к мышечной силе, выносливости и функциональным возможностям сердечно-сосудистой системы, но и к состоянию нервной системы. Любое целенаправленное движение представляет собой результат сложного взаимодействия центральных и периферических нервных структур, органов чувств, двигательных нервов и скелетных мышц. Именно нервная система обеспечивает формирование

двигательной команды, регулирование мышечного напряжения, согласование движений и своевременное изменение двигательной программы в ответ на внешние условия.

В процессе спортивной подготовки нервная система постоянно приспосабливается к повторяющимся физическим и координационным нагрузкам. При освоении нового технического элемента спортсмен постепенно формирует более устойчивую двигательную программу. Сначала движение может выполняться с выраженным сознательным контролем и значительным количеством ошибок. По мере повторения совершенствуется взаимодействие между различными нервными центрами, улучшается согласованность мышечной активности, повышается точность и экономичность двигательного действия.

Особое значение нервная регуляция приобретает в видах спорта, где требуется высокая скорость реакции. В спринтерском беге, плавании, фехтовании, боксе и игровых дисциплинах спортсмен должен быстро воспринимать сигнал, оценивать ситуацию и организовывать соответствующий двигательный ответ. Даже при достаточной мышечной силе недостаточная скорость нервно-мышечной активации может ограничивать результативность.

В силовых дисциплинах важную роль играет способность нервной системы вовлекать двигательные единицы в выполнение усилия и согласовывать работу различных мышечных групп. В гимнастике, фигурном катании и спортивных единоборствах большое значение имеют точность управления положением тела, сохранение равновесия и своевременное изменение мышечного напряжения.

Исследование нервной системы позволяет изучать не только непосредственные механизмы движения, но и адаптационные изменения, возникающие в результате длительных тренировок. С помощью нейрофизиологических методов можно оценивать особенности активации мышц, состояние рефлекторных механизмов, характеристики центрального управления движениями и проявления утомления. Однако ни один отдельный показатель не способен полностью описать функциональное состояние спортсмена. Поэтому результаты нейрофизиологических исследований необходимо сопоставлять с данными педагогического наблюдения, функционального тестирования и медицинского обследования.

Физиологические основы нервно-мышечной деятельности спортсмена

Нервно-мышечная система представляет собой функциональное объединение нервных структур и мышечного аппарата, обеспечивающее выполнение двигательных действий. Центральная нервная система формирует и регулирует двигательные команды, периферические нервы передают импульсы к мышцам, а мышечные волокна осуществляют механическое сокращение.

Основной функциональной единицей нервно-мышечной системы является двигательная единица. Она включает один двигательный нейрон и группу мышечных волокон, которые получают от него нервные импульсы. Количество мышечных волокон в одной двигательной единице зависит от функционального назначения мышцы. В мышцах, обеспечивающих точные движения, двигательные единицы обычно меньше, чем в крупных мышечных группах, выполняющих мощные двигательные действия.

Регулирование мышечного усилия осуществляется посредством изменения количества активных двигательных единиц и частоты их импульсации. При выполнении движения нервная система определяет, какие мышечные группы должны включиться в работу, насколько интенсивно они должны сокращаться и как необходимо согласовать их деятельность. Данный механизм особенно важен в спортивных упражнениях, требующих сочетания силы, скорости и точности.

Значительную роль играет взаимодействие головного и спинного мозга. Кора больших полушарий участвует в формировании произвольных движений и управлении сложными двигательными программами. Подкорковые структуры обеспечивают участие в регулировании двигательной активности, а мозжечок играет важную роль в координации, точности и коррекции движений. Спинной мозг содержит нервные механизмы, обеспечивающие проведение импульсов и осуществление ряда рефлекторных реакций.

Обратная связь от мышц, сухожилий и суставов позволяет нервной системе получать информацию о положении тела, степени мышечного напряжения и характере выполняемого движения. Благодаря этому спортсмен способен корректировать двигательное действие непосредственно во время его выполнения. При изменении положения опоры, неожиданном контакте с соперником или нарушении равновесия сенсорная информация становится основой для быстрого изменения мышечной активности.

Таким образом, исследование нервно-мышечной системы должно учитывать несколько взаимосвязанных уровней: центральное управление, спинальные механизмы, проведение нервных импульсов, взаимодействие нервов и мышц, а также функциональный результат в виде двигательного действия. Изучение только мышечного сокращения без оценки нервной регуляции даёт ограниченное представление о механизмах спортивной работоспособности.

Электромиография как основной метод изучения мышечной активации

Электромиография занимает одно из ведущих мест среди методов исследования нервно-мышечной системы. Она основана на регистрации электрической активности, возникающей при возбуждении мышечных волокон. Получаемый сигнал позволяет изучать особенности включения мышц в работу, временную организацию мышечной активности и изменения электрических характеристик при выполнении физических упражнений.

Наиболее распространённым вариантом является поверхностная электромиография. Для проведения исследования на коже над изучаемой мышцей размещают специальные электроды, которые регистрируют суммарную электрическую активность расположенных под ними мышечных волокон. Метод не требует проникновения в мышечную ткань, поэтому может использоваться при выполнении различных двигательных заданий.

Поверхностная электромиография применяется для анализа работы мышц во время бега, прыжков, плавания, силовых упражнений и технических действий в игровых видах спорта. Например, при изучении техники приседания можно исследовать последовательность включения мышц бедра, ягодичной области и голени. При анализе бега регистрируется активность мышечных групп в различные фазы шага. В единоборствах электромиография может применяться для изучения временной организации мышечного напряжения при выполнении ударных и защитных движений.

Другим вариантом является игольчатая электромиография, при которой электроды вводятся непосредственно в исследуемую мышцу. Этот метод позволяет изучать электрическую активность отдельных участков мышечной ткани и применяется преимущественно в специализированной клинической диагностике. В обычной спортивной практике он используется значительно реже из-за инвазивного характера исследования.

Перспективным направлением считается высокоплотностная поверхностная электромиография. В отличие от стандартного расположения нескольких электродов, она использует матрицу большого количества измерительных элементов. Это позволяет получать более подробную информацию о пространственном распределении мышечной активности и исследовать характеристики отдельных двигательных единиц при специальной обработке сигнала. Возможности и ограничения данного подхода подробно рассматриваются в современной литературе по спортивной физиологии.

При интерпретации электромиографических данных необходимо учитывать, что амплитуда сигнала не является прямым измерением мышечной силы. Она зависит от положения электродов, толщины подкожной ткани, характеристик мышцы, способа обработки сигнала и других факторов. Поэтому некорректно делать вывод о превосходстве одной мышцы над другой только на основании сравнения необработанных значений электромиографической амплитуды. Исследование должно проводиться по заранее определённому протоколу с обязательным описанием условий регистрации.

Электронейромиография и исследование проведения нервных импульсов

Электронейромиография представляет собой комплекс методов, предназначенных для оценки функционального состояния периферических нервов и нервно-мышечной передачи. В отличие от поверхностной

электромиографии, которая преимущественно регистрирует электрическую активность мышц во время движения, электронейромиографическое исследование позволяет изучать проведение импульсов по нервным волокнам и особенности ответа мышц на электрическое раздражение.

Важной частью исследования является определение скорости проведения возбуждения по периферическому нерву. Для этого нерв стимулируют электрическим импульсом в определённых точках, а ответ регистрируют с помощью электродов. Полученные результаты позволяют оценивать функциональное состояние исследуемого нервного участка.

Другим показателем является амплитуда регистрируемого мышечного или чувствительного ответа. Она характеризует особенности электрического ответа исследуемой структуры, но должна интерпретироваться с учётом используемой методики и клинического контекста. При необходимости проводится исследование нескольких нервов и мышц, что позволяет более полно оценить состояние периферической нервной системы.

В спортивной медицине электронейромиография может применяться при подозрении на повреждение периферических нервов, последствия травм, нарушения чувствительности и двигательной функции. Например, после травмы плечевого пояса у спортсмена, занимающегося плаванием или метательными дисциплинами, может возникнуть необходимость оценить состояние нервных структур, участвующих в управлении мышцами верхней конечности.

Велика роль метода и при обследовании спортсменов после компрессионных повреждений нервов, которые могут возникать вследствие травматического воздействия, длительного давления или определённых положений тела. Однако электронейромиография не является обязательным исследованием для каждого спортсмена и не должна использоваться без соответствующих показаний.

При оценке результатов важно учитывать возраст, температуру конечности, особенности телосложения, состояние кожи, характеристики оборудования и методику регистрации. Исследование проводится специалистом, имеющим подготовку в области клинической нейрофизиологии. В спортивной практике полученные данные необходимо сопоставлять с результатами неврологического осмотра, оценкой силы мышц и анализом двигательных возможностей.

Электроэнцефалография и изучение центрального управления движениями

Электроэнцефалография является методом регистрации электрической активности головного мозга с поверхности головы. Она позволяет исследовать функциональную организацию мозговой деятельности в состоянии покоя, при выполнении умственных заданий и во время определённых двигательных действий.

В спортивной науке электроэнцефалография представляет интерес прежде всего в связи с изучением центральных механизмов управления движениями, внимания, реакции на внешние сигналы и адаптации мозга к физическим нагрузкам. Спортивное действие требует не только мышечного усилия, но и постоянной обработки информации, поступающей от органов чувств. Поэтому особенности мозговой активности могут быть связаны с уровнем двигательного мастерства и характером выполняемой задачи.

Одно из направлений исследований связано с регистрацией электрической активности мозга во время двигательной подготовки и выполнения упражнений. Например, можно изучать изменения мозговой активности при подготовке к старту, выполнении точного броска или реакции на неожиданное изменение игровой ситуации. В таких экспериментах важно учитывать влияние двигательных помех, поскольку сокращение мышц головы, лица и шеи способно искажать регистрируемый сигнал.

Электроэнцефалография также используется для исследования утомления и изменения функционального состояния при продолжительной физической работе. Однако отдельные изменения частотных характеристик электроэнцефалограммы нельзя автоматически считать доказательством определённого уровня усталости. На результаты влияют состояние бодрствования, эмоциональное напряжение, условия регистрации и особенности аналитической обработки.

Отдельный интерес представляет применение нейрообратной связи. При таком подходе спортсмен получает информацию о некоторых характеристиках собственной мозговой активности и учится изменять своё состояние с помощью специальных тренировочных процедур. Предполагается, что это может способствовать совершенствованию концентрации внимания и управления психофизиологическим состоянием. Вместе с тем научные данные по применению электроэнцефалографической нейрообратной связи в спорте остаются неоднородными, а методики нуждаются в дальнейшей стандартизации.

Электроэнцефалография не позволяет непосредственно измерить мышечную силу, скорость реакции или спортивное мастерство. Её назначение заключается в исследовании центральных механизмов, которые участвуют в организации двигательной деятельности. Поэтому наиболее содержательные результаты получаются при сочетании электроэнцефалографии с регистрацией мышечной активности и объективными показателями выполнения спортивного задания.

Заключение

Исследование нервной и нервно-мышечной систем является важным направлением современной спортивной науки. Электромиография, электронейромиография, электроэнцефалография, исследование рефлекторной деятельности и транскраниальная магнитная стимуляция позволяют изучать различные уровни организации двигательной функции. Их применение

способствует более глубокому пониманию механизмов мышечной активации, центрального управления движениями, нервно-мышечного утомления и адаптации к тренировочным нагрузкам. Вместе с тем достоверность результатов зависит от правильного выбора методики, стандартизации условий измерения и профессиональной интерпретации данных. Наиболее перспективным является комплексный подход, объединяющий нейрофизиологические исследования с оценкой физической подготовленности и двигательной техники спортсмена.

Список литературы

1. Gandevia S. C. Spinal and Supraspinal Factors in Human Muscle Fatigue. *Physiological Reviews*. 2001. Vol. 81, No. 4. P. 1725–1789. DOI: 10.1152/physrev.2001.81.4.1725.
2. Enoka R. M., Duchateau J. Translating Fatigue to Human Performance. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2016. Vol. 48, No. 11. P. 2228–2238. DOI: 10.1249/MSS.0000000000000929.
3. Taylor J. L., Amann M., Duchateau J., Meeusen R., Rice C. L. Neural Contributions to Muscle Fatigue: From the Brain to the Muscle and Back Again. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2016. Vol. 48, No. 11. P. 2294–2306.
4. Palmieri R. M., Ingersoll C. D., Hoffman M. A. The Hoffmann Reflex: Methodologic Considerations and Applications for Use in Sports Medicine and Athletic Training Research. *Journal of Athletic Training*. 2004. Vol. 39, No. 3. P. 268–277.
5. Thompson T., Steffert T., Ros T., Leach J., Gruzelier J. EEG Applications for Sport and Performance. *Methods*. 2008. Vol. 45, No. 4. P. 279–288. DOI: 10.1016/j.ymeth.2008.07.006.
6. Vigotsky A. D. et al. Interpreting Signal Amplitudes in Surface Electromyography Studies in Sport and Rehabilitation Sciences. *Frontiers in Physiology*. 2018. Vol. 8. Article 985. DOI: 10.3389/fphys.2017.00985.
7. Ismail L. et al. Electroencephalography (EEG) Physiological Indices Reflecting Human Physical Performance: A Systematic Review Using Updated PRISMA. *Journal of Integrative Neuroscience*. 2023. Vol. 22, No. 3. Article 62. DOI: 10.31083/j.jin2203062.
8. Investigation of Motor Unit Behavior in Exercise and Sports Physiology: Challenges and Perspectives. *European Journal of Applied Physiology*. 2024.
9. Consensus for Experimental Design in Electromyography (CEDE) Project: Checklist for Reporting and Critically Appraising Studies Using EMG (CEDE-Check). *Journal of Electromyography and Kinesiology*. 2024. DOI: 10.1016/j.jelekin.2024.102874.
10. Studying Brain Activity in Sports Performance: Contributions and Issues. *Progress in Neurobiology*. 2019. Vol. 177. P. 61–83.