

© Коллектив авторов., 2009
УДК 616.12-008.331.1:616.248]-053.9

ЭЛЕКТРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ МЕХАНИЗМА УПРАВЛЕНИЯ ТОЧНОСТНЫМИ ДВИЖЕНИЯМИ СПОРТСМЕНОВ

Н.К. Полещук, Н.В.Холмогорова, А.Б. Макаревский

Московский городской психолого-педагогический университет;
Московский государственный педагогический университет, г. Москва
Военная академия воздушно-космической обороны
им. Маршала Советского Союза Г. К. Жукова, г. Тверь

В работе рассматриваются особенности управления точностными не-локомоторными движениями с акцентом на суставную точность как процессуальный феномен, объединяющий компоненты: точность отмеривания суставного угла, воспроизведения и дифференцирования. Основным результатом состоит в том, что не выявлено однозначной связи между частотно-амплитудными характеристиками «турнов» ЭМГ дельтовидных мышц рук и гониометрическими показателями точности отмеривания и воспроизведения. Обнаружено явно выраженное сходство в динамике изменения характеристик ЭМГ и статистик, характеризующих точность дифференцирования плечевого суставного угла. Как следствие установленных фактов обсуждается вопрос о том, что точностные движения являют собой результат одновременно раздельного управления компонентами суставной точности.

Ключевые слова: электрофизиологические исследования, точностные движения, спортсмены.

Тело имеет в своем распоряжении два различных типа движений: произвольные, т.е. которыми можно управлять по желанию, и произвольные, которые такому управлению не поддаются. Всякое произвольное движение характеризуется тремя параметрами: пространственными, временными и интенсивностью прилагаемых усилий. В настоящей работе сделан акцент на пространственный параметр – суставную точность (СТ), без которой практически невозможно достичь совершенства точностных движений.

Согласно современным представлениям [5] двигательное качество СТ объединяет в себе три компонента: точность отмеривания суставного угла (ТО), воспроизведения (ТВ) и дифференцирования (ТД). В то же время в научных исследованиях связанных с овладением пространственной формой движения оценки выводились из наблюдений, за каким либо отдельным компонентом СТ [7,9]. Это дает основание считать, что целостное представление о проблеме управления точностным движением сложилось через описание отдельных двигательных актов сходных по частной цели. Вместе с тем, не всегда оправданно распространение выявленных закономерностей на механизм формирования СТ, как основы успешного освоения спортсменами разнообразных видов двигательной деятельности, связанной с ориентировкой звеньев тела в пространстве [6].

Гипотеза исследования: организация эксперимента, предусматривающего проявление трех компонентов СТ, объединенных структурой двигательного зада-

ния, позволит расширить и углубить знания о механизме управления точностными нелокомоторными движениями.

Материалы и методы

Организовано комплексное исследование с использованием методов кинезиологии, электромиографии и гониометрии. Обследуемые индивиды без зрительного контроля 10 раз выполняли двигательное задание: отмерить правой (указывающей) рукой заданный угол 90° , удержать достигнутую позицию и воспроизвести ее левой (воспроизводящей) рукой. С помощью биполярных электродов записывали электрическую активность мышц. Для измерения плечевых суставных углов правой ($\phi_{\text{ПР}}$) и левой ($\phi_{\text{ЛЕВ}}$) рук применяли вмонтированные в корпус часов электрогониометрические датчики. Результаты автоматически вводились в компьютер. На основе анализа разницы в значениях суставных углов $\phi_{\text{ПР}}$ (i) и $\phi_{\text{ЛЕВ}}$ (i) при $i = 1, 2, \dots, 10$ формировали три вектора ошибок: $\Delta_{\text{ТО}}$ – отмеривания, $\Delta_{\text{ТВ}}$ – воспроизведения и $\Delta_{\text{ТД}}$ – дифференцирования. Подробно эта процедура описана в работе [8]. Выполнены трех этапные исследования с участием борцов, стрелков и пловцов (15 человек). Дополнительно на втором этапе исследования проводилось тестирование до и после занятий физическими упражнениями.

Результаты и их обсуждение

С учетом анатомической структуры тестового движения – подъем вытянутой вперед руки в качестве объекта изучения выбраны три мышцы: 1 - дельтовидная, 2 - бицепс и 3 – трицепс. Среднестатистические данные амплитудных характеристик поверхностных ЭМГ приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Амплитудные характеристики ЭМГ мышц при произвольном сгибании руки

Дельтовидная (передняя часть)	Бицепс (длинная головка)	Трицепс (длинная головка)
$328,7 \pm 4,6$ мкВ	$98,4 \pm 5,3$ мкВ	$70,2 \pm 2,5$ мкВ

После предварительной разминки (выполняли ФУ) амплитуда ЭМГ мышц обеих рук увеличилась (1,5 раза), в то время как ошибки отмеривания и воспроизведения суставного угла не изменились (до/после занятий $\Delta_{\text{ТО}}=2,3^{\circ}/2,5^{\circ}$ и $\Delta_{\text{ТВ}}=3,1^{\circ}/3,5^{\circ}$), а точность дифференцировки даже снизилась ($\Delta_{\text{ТД}}=1,5^{\circ}/2,8^{\circ}$). Полученные данные можно объяснить тем, что изменение точности локализации связано не столько с появлением дополнительных афферентных сигналов, сколько с явлениями центрального происхождения [4].

В целях изучения механизмов супраспинального контроля широкое применение находит амплитудно-частотный анализ «поворотов» (турнов) колебаний ЭМГ [12]. Используя этот метод, обработке подвергали ЭМГ дельтовидных мышц ($\text{ЭМГ}_{\text{ДМ}}$), т. к. только мышечные усилия, развиваемые этой мышцей при подъеме руки, опосредуют появление потенциалов 100 мкВ и более (табл.1), что соответствует амплитуде «турна», отмеченной в литературе [2].

В $\text{ЭМГ}_{\text{ДМ}}$ указывающей и воспроизводящей рук обнаружены существенные различия средней амплитуды и частоты «турнов». Так в 46,7% случаев средняя амплитуда «турнов» $\text{ЭМГ}_{\text{ДМ}}$ указывающей руки превосходила на 100 – 200 мкВ сред-

ною амплитуду ЭМГ_{дм} воспроизводящей руки, в 20% случаев была меньше на 50 – 100 мкВ, в остальных случаях различия недостоверны.

Средняя частота «турнов» ЭМГ_{дм} указывающей руки превосходила этот показатель воспроизводящей руки в 66,5% случаев. В 13,4% случаев был выявлен противоположный эффект. В остальных 20,1% случаев средние частоты «турнов» в ЭМГ_{дм} обеих рук при выполнении двигательного задания достоверно не различались. На основе автоматической компьютерной оценки выявлены по два диапазона частот: для указывающей руки – 50 – 200 турн/с и 350 – 550 турн/с; для воспроизводящей руки – до 100 турн/с и 300 – 500 турн/с.

В целях уточнения полученного результата продолжили дальнейший анализ ЭМГ_{дм}, учитывая: 1) ширину диапазона вариаций средних амплитуд и частоту «турнов» отдельно для указывающей и воспроизводящей рук и 2) ширину расхождения этих диапазонов.

Путем совмещения корреляционных полей, построенных на основе анализа ЭМГ_{дм} указывающей и воспроизводящей рук выделены четыре наиболее часто встречающиеся варианта амплитудно-частотных зависимостей «турнов»:

I. Числовые значения средней амплитуды и средней частоты «турнов» ЭМГ_{дм} указывающей руки достоверно больше числовых значений этих же параметров ЭМГ_{дм} воспроизводящей руки (на $A = 150 \pm 58$ мкВ и $f = 115 \pm 28$ турн/с); диапазоны вариаций этих показателей сконцентрированы.

II. Числовые значения средней амплитуды «турнов» ЭМГ_{дм} указывающей и воспроизводящей рук приблизительно равны (расхождения в пределах ± 35 мкВ), диапазоны вариаций сконцентрированы.

Числовые значения средней частоты «турнов» ЭМГ_{дм} указывающей руки достоверно больше числовых значений средней частоты «турнов» ЭМГ_{дм} воспроизводящей руки:

а) диапазоны вариаций числовых значений средней частоты «турнов» ЭМГ_{дм} обеих рук сконцентрированы и ширина расхождения между ними значительная (более 50 турн/с);

б) диапазоны вариаций числовых значений средней частоты «турнов» ЭМГ_{дм} обеих рук не сконцентрированы и ширина расхождения между ними незначительная (в пределах 15 – 20 турн/с).

III. Числовые значения средней амплитуды «турнов» ЭМГ_{дм} указывающей руки больше числовых значений средней амплитуды «турнов» ЭМГ_{дм} воспроизводящей руки, диапазоны вариаций этого параметра в обоих случаях сконцентрированы:

а) диапазоны вариаций средней частоты «турнов» ЭМГ_{дм} обеих рук сконцентрированы и ширина расхождения между ними незначительная;

б) диапазон вариаций средней частоты «турнов» ЭМГ_{дм} указывающей руки сконцентрирован, а воспроизводящей – не сконцентрирован.

IV. Числовые значения средней амплитуды «турнов» ЭМГ_{дм} указывающей и воспроизводящей рук приблизительно равны и диапазоны вариаций этих параметров сконцентрированы/не сконцентрированы. Числовые значения средней частоты «турнов» ЭМГ_{дм} указывающей руки достоверно больше числовых значений этого же параметра ЭМГ_{дм} воспроизводящей руки и диапазоны вариаций этих параметров сконцентрированы/не сконцентрированы;

Далее выполнялся сопоставительный анализ результатов, полученных методами гониометрии и электромиографии. Выявлено следующее. Во-первых, не

обнаружено однозначной связи с ошибками, характеризующими ТО и ТВ. В каждом из 4 выделенных соотношений с приблизительно равной вероятностью встречались различные типы ошибок $\Delta_{ТО}$ (гиперметрия $\varphi(10)_{ПР} > 90^{\circ}$, гипометрия $\varphi(10)_{ПР} < 90^{\circ}$) и $\Delta_{ТО}$ (положительная доминанта $\varphi(10)_{ПР} > \varphi(10)_{ЛЕВ}$ и отрицательная доминанта $\varphi(10)_{ПР} < \varphi(10)_{ЛЕВ}$, реверсивная $\varphi(10)_{ПР} >, =, < \varphi(10)_{ЛЕВ}$). Во-вторых, ошибки $\Delta_{ТД}$, отличаясь, как показал автокорреляционный анализ, индивидуальным разнообразием колебаний их текущих значений, в то же время обнаруживают связь с признаками ЭМГ_{ДМ}. Отражается это во внешнем сходстве паттерна изменения знака ошибки $\Delta_{ТД}$ и направления колебаний только числового значения средней частоты «турнов» ЭМГ_{ДМ} рук или в сочетании с изменением средней амплитуды «турнов».

Другим обстоятельством, на которое следует обратить внимание, является тот факт, что в группах высококвалифицированных и низкоквалифицированных спортсменов частотные характеристики ЭМГ_{ДМ} имеют существенные отличия. Диапазоны вариаций средних значений амплитуды и/или средних частот «турнов» ЭМГ_{ДМ} правой и левой рук при 10 кратном выполнении ДЗ у спортсменов, имеющих высокую квалификацию, были более сконцентрированы, чем у спортсменов низкой квалификации. Сравнимые диапазоны оказались меньше по ширине на 23,5% (70 – 85 мкВ).

Расхождения между диапазонами вариаций средних частот «турнов» ЭМГ_{ДМ} правой и левой рук при 10 кратном выполнении ДЗ варьировали и не всегда обнаруживали связь со спортивным мастерством обследуемых индивидов. В обеих группах спортсменов встречались варианты с шириной расхождения диапазонов в пределах 100 турн/с (значительное расхождение) и не превышающих 20 -50 турн/с (не значительное расхождение).

Важно так же отметить, что в процентном отношении у высококвалифицированных спортсменов выделенные варианты ЭМГ_{ДМ} распределились следующим образом. В группе стрелков наиболее часто (85%) встречался I-й вариант амплитудно-частотной зависимости «турнов», в группе пловцов – сочетание вариантов I-го (62,5%) и III-го (37,5%). В группе борцов встречались все четыре варианта амплитудно-частотной зависимости «турнов»: I-й вариант (25%), II -й вариант (37,5%), III-й вариант (12,5%) и IV вариант (25%). При этом наблюдается индивидуальное разнообразие количественно-качественных показателей, характеризующих проявления компонентов ТО, ТВ и ТД

Выводы

Обобщая полученные результаты, обратим внимание на следующие факты. Согласно нашим данным, решение двигательной задачи без зрительного контроля опосредуется различными амплитудно-частотными зависимостями электрической активности мышц указывающей и воспроизводящей рук, при этом количество видов зависимостей ограничено и их проявления обнаруживают связь со спортивными специализациями, которые принципиально отличаются структурой двигательных действий. Так же важно отметить, что мышцы руки, воспроизводящей суставной угол указанный другой рукой, часто проявляют достоверно меньшую электрическую активность. В то же время в работах [10, 11] говорится о том, что без зрительного контроля средние амплитуды ЭМГ одноименных мышц вытянутых вперед рук, отличаются недостоверно (всего на несколько единиц).

Таким образом, в совокупности результаты экспериментальных исследований и данные литературы допускают сделать следующее заключение. Управление точностью суставных перемещений является собой управление программное. Чтобы продолжить рассуждение дальше в этом плане, выделим признаки, которые на наш взгляд, наиболее значимы.

Первая группа признаков. Согласно результатам анализа текущих гониограмм ошибки $\Delta_{ТО}$, $\Delta_{ТВ}$ и $\Delta_{ТД}$ имеют случайный характер. Из трех видов ошибок только изменение текущих ошибок $\Delta_{ТД}(i)$ при $I = 1, 2, \dots, 10$ часто обнаруживает связь с изменениями амплитуды и частоты «турнов» ЭМГ_{ДМ}.

Вторая группа признаков. В процессе 10 кратного повторения тестовых движений средние уровни, относительно которых совершались колебания углов достигнутых в плечевых суставах указывающей и воспроизводящей рук в большинстве случаев достоверно различались. Числовые значения ошибок воспроизведения в 78% случаев имели пределы $2^0 < \Delta_{ТВ} < 7^0$, при этом изменения позиции указывающей руки отслеживались воспроизводящей рукой с точностью $1^0 < \Delta_{ТД} < 2^0$. Иными словами, низкая точность воспроизведения суставных перемещений сочетается с филигранной точностью дифференцирования, соответствующей физиологическому тремору, который является прямым результатом процесса управления суставными перемещениями [3]

Третья группа признаков. Внешние проявления суставной точности отличаются индивидуальным разнообразием. Отражается это в несходстве количественно-качественных показателей точности отмеривания и/или воспроизведения, и/или дифференцирования суставного угла. В то же время признаки суммарных электромиограмм, зарегистрированных при выполнении односуставных движений (указать, воспроизвести и дифференцировать суставной угол) поддаются классификации и обнаруживают связь со спортивными специализациями, которые, принципиально отличаясь техникой движений, естественно отличаются и механизмом управления.

Признаки первой группы подтверждают мысль Н.А. Бернштейна [1] о том, что невозможно найти ту формулу, которая позволила бы вывести произвольные движения человека из одних только эфферентных импульсов.

Признаки первой и второй групп в совокупности позволяют высказать следующее положение. Суставная точность является собой процессуальный феномен с одновременно раздельной стратегией управления компонентами ТО, ТВ и ТД, входящими в ее состав.

Признаки, выделенные в третьей группе, отражают связь результатов электромиографии с программным управлением точностью суставных перемещений рук. Этот факт, очевидно, следует в дальнейшем исследовать более многогранно. Однако уже сейчас он позволяет высказать суждение о том, что некоторые отличительные частотно-амплитудные признаки ЭМГ_{ДМ} определяются исключительно центральными командами, а часть характеристик равным образом зависит от афферентных сигналов, генерируемых во время выполнения точностного движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бернштейн Н.А. О построении движений/ Н.А. Бернштейн. – М.: Медгиз, 1947. - 256 с.
2. Городничев Р.М. Спортивная электронейромиография /Р.М. Городничев. – Великие Луки, 2005. – 230 с.
3. Гурфинкель В.С., Коц А.М., Шик М.Л. Регуляция позы человека /В.С. Гурфинкель, А.М. Коц, М.Л. Шик. – М.: Наука, 1965. – 256 с.

4. Гурфинкель В.С. Внутренние модели восприятия положения и планирования движения /В.С. Гурфинкель, Е.Е. Дебрева, Ю.С. Левик //Физиология человека. - 1986. - № 5. - С. 769-778.
5. Ивойлов А.В. Помехоустойчивость движений спортсмена/ А.В. Ивойлов. - М.: ФиС, 1986. – 110 с.
6. Лукьяненко В.П. Точность движений: проблемные аспекты теории и их прикладное значение /В.П. Лукьяненко //Теория и практика физической культуры. - 1991.- №4. - С. 2-9.
7. Любомирский Л. Е.Управление движениями у детей и подростков /Л.Е.Любомирский. – М.: Педагогика, 1974. - 232 с.
8. Полещук Н.К. Дифференциально-интегральная оценка точности суставных движений спортсменов различных специализаций /Н.К. Полещук, А.Б. Макаревский, И.В. Дьякова //Вестник Тверского государственного университета. – 2009. - №14. – С. 64 – 71 с.
9. Рокотова Н.А. Моторные ядра и исполнительная деятельность. Исследование координированных движений руки /Н.А. Рокотова [и др.]. – Л.: Наука, 1971. – 185 с.
10. Фарфель В.С. Управление движениями в спорте /В.С. Фарфель.–М.: ФиС, 1975.- 206 с.
11. Уфлянд Ю.М. Физиология двигательного аппарата человека /Ю.М. Уфлянд – Л.: Медицина, 1965. - 363 с.
12. Fuglsand-Frederiksen A. Interference EMG analysis / A. Fuglsand-Frederiksen // Computer-aided electromiography and expert system / Ed. J.E. Desmedt. Elsevier Science Publishers B.V., 1989. - P. 161- 170.

ELECTROPHYSIOLOGICAL STUDIES MECHANISM OF MOVEMENTS PRECISION ATHLETES

N.K. Poleschuk, N.V. Kholmogorova, A.B. Makarevsky

We consider features precision control nelokomotornymi movements with emphasis on the accuracy of the joints as a procedural phenomenon, combining components: accuracy of measuring the articular angle, reproduction and differentiation. The main result is that found no unique relationship between the frequency-amplitude characteristics "Turnov" EMG anterior deltoid hands and goniometric indices of precision measuring and reproduction. Found explicit similarities in the dynamics of changes in the characteristics of EMG and statistics describing the accuracy of differentiation of the brachial articular angle. As a consequence of the established facts discussed that the precision movements are the result of simultaneous administration of separate components of the articular accuracy.

Key words: electrophysiological studies, the precision of motion, athletes.

Полещук Надежда Константиновна, профессор, доктор педагогических наук, профессор, ведущий специалист научной лаборатории проблем возрастной физиологии Московского городского психолого-педагогического университета.

Холмогорова Наталья Владимировна, доцент, кандидат биологических наук, должность - доцент кафедры физиологии Московского педагогического Государственного Университета

natalya_holmogor@mail.ru

Макаревский Александр Борисович, соискатель, начальник кафедры физической подготовки и спорта Военной академии ВКО. makarevska@mail.ru

