

## БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РЕГУЛЯЦИИ СГИБАНИЯ И РАЗГИБАНИЯ РУК В ПЛЕЧЕВЫХ СУСТАВАХ СТУДЕНТОК В ВОЗРАСТЕ 19–20 ЛЕТ

А.П. Исаев<sup>1</sup>, Р.А. Гайнулин<sup>2</sup>, Н.Е. Клещенкова<sup>1</sup>, А.С. Ушаков<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск,

<sup>2</sup>Башкирский государственный медицинский университет, г. Уфа

Цель – определить скоростно-силовые параметры динамических характеристик сгибания и разгибания рук в плечевых суставах студенток в возрасте 19–20 лет, занимающихся физической культурой. В обследовании принимали участие студентки Южно-Уральского государственного университета в возрасте 19–20 лет, посещающие занятия по физической культуре, первой – 12 % и второй групп здоровья – 48 % (40 % студенток относились к специальной медицинской группе) в количестве 16 человек. Для оценки изокинетического движения в плечевом суставе использовался комплекс BiodexSystem 4 Pro, для определения частоты сердцебиения – диагностическая установка SCHILLER CARDIOVIT CS-200 Ergo-Spiro. При анализе полученных данных рассчитывался коэффициент разницы для больших групп мышц  $\leq 15$  %, малых групп мышц  $\leq 20$  %, процент дефицита от – 10 до +10 %, максимальный вращающий момент, время его достижения, угол максимального вращающего момента, отношение работы к массе тела, средняя мощность, время ускорения, торможения, диапазон движения, вращающий момент с эффектом гравитации. Полученные результаты позволили наиболее точно описать биомеханические характеристики регуляции сгибания и разгибания рук в плечевых суставах. Студентки выполняли двигательные действия (ДД) в аэробном режиме, при этом оценка функционального состояния по частоте сердечных сокращений свидетельствовала о хорошей восстанавливаемости. Анализ полученных результатов показал профильную асимметрию, обоснованную генотипически и фенотипически, рассматривая ДД как специфическое поведение человека, связанное со здоровьем.

*Ключевые слова:* регуляция двигательных действий, нейромоторное обеспечение, адаптационные способности, нейронная сеть, суставы, угловая скорость, мощность, мышечная сила, коррекция, группы здоровья, сгибание, разгибание.

**Введение.** Развитие силовых двигательных способностей (СДС) лежит в основе формирования осанки, функционирования внутренних органов, выполнения бытовых и спортивных двигательных действий (ДД), соединительной ткани (мышечной, нервной, костной, связочной, жировой), а также физиологических звеньев и биохимических компонентов силовой выносливости. Не вызывает сомнения тот факт, что при развитии СДС в подростковом возрасте целесообразно использовать критические и сенситивные периоды влияния на ауksологические характеристики, совершенствование нейромоторного обеспечения ДД. При этом происходит полная активизация двигательных единиц (ДЕ) и групп мышц [2, 5].

Первоначальный прирост силы связан с гипертрофией мышц, совершенствованием техники силоприложения, статокинетической устойчивости (СКУ), увеличением общей массы тела и совокупной энергопродукцией звеньев смешанных систем при ЧСС не превышающих 160–170 уд./мин.

С точки зрения физиологии у занимающихся силовой подготовкой, происходят следующие сдвиги:

– гипертрофия и расположение мышечных волокон, увеличение площади анатомического поперечника, активирующее повышение влияния в регуляции СКУ, воздействия ЦНС, улучшение буферных свойств мышц, усиление кровотока мышц, ритмичность импульсов в мышце, изменение активности раз-

личного количества ДЕ, их синхронизации, скорость оксигенации и нарастания ЧСС, АД, воздействие натуживания на систему дыхания;

– повышение содержания креатинфосфата, гликогена, снижение плотности митохондрий, наличие преобладающего числа белых мышечных волокон, восприимчивость нейрогормонального обмена, состояние обменов (жирового, углеводного, белкового, водно-солевого);

– ферментативная активность, перекисное окисление липидов, индекс тканевой экстракции кислорода, буферные системы (ионы водорода,  $\text{HCO}_3^-$ , бикарбоната, фосфата, рН, специфические сдвиги АТФ, короткоотставленный гликолиз, снижение активности окислительных энзимов, повышение концентрации лактата до 5–8 ммоль/л).

Положение тела зависит от информации об уровнях углового расположения всех суставов во всех плоскостях и скоростях его изменения. При этом мышечные веретена важны в регуляции двигательных действий. Информация об общем растяжении мышечных веретен транслируется в спинной мозг и в более высокие уровни регуляции суставных углов. Вместе с тем, сигналы из отдельных рецепторов участвуют в информировании надсегменторных структур (таламических нейронов), регулирующих вращение суставов. Основным движением плечевого сустава является поворот вперед (сгибание), в котором участвует дельтовидная и клювовидно-плечевая мышцы. Данный поворот вперед относится к ДД, при которых часть действия происходит совместным движением (синкнезия). Движение не ограничено, так как оно не будет ощущаться до возможного крайнего положения руки: при разгибании участвуют широчайшая мышца спины, большая круглая мышца, дельтовидная мышца. Из указанных мышц широчайшая мышца спины является очень сильной мышцей. Объем движения ограничивается, с одной стороны, растяжением мышц, причастных к сгибанию в плечевом суставе, с другой стороны, упором в бугорок плечевой кости, в клювовидно-акромиальную связку и акромиальный отросток ключицы [4]. Сгибание-разгибание невозможно без сокращения и расслабления скелетных мышц [1]. Важная роль в регуляции ДД, обеспечении СКУ принадлежит мышцам шеи. Совокупность ДД обеспечивается мышцами шеи, которые помо-

гают осуществлять сгибание, повороты, наклон позвонков и головы в стороны. Можно предположить, что в процессе ДД в онтогенезе формируется система регуляции движений с участием динамографических, пространственных и временных компонентов.

Мышцы шеи лежат между черепом, позвоночником и грудной клеткой. К ним относятся кожная мышца, лестничные мышцы, мышцы, поднимающие ребра и поддерживающие форсированный выдох при сгибании головы. В передней части позвоночника лежат длинные мышцы головы и шеи, осуществляющие сгибание головы вперед и наклон ее в бок. Часть пучков мышцы шеи участвуют во вращении позвоночника (повороты). Со стороны шейного отдела позвоночника находятся короткие передние межпоперечные мышцы шеи и латеральная прямая мышца головы, которые регулируют наклон позвонков и головы в сторону.

Скелетные мышцы находятся в тесной связи с регуляторными процессами произвольных движений. Физическая нагрузка вызывает комплекс соматовегетативных изменений в организме. Скелетные мышцы сокращаются под влиянием импульсов от мотонейронов спинного мозга.

Проводить анализ двигательных действий, который предполагает сузить структуру и функции мышц при их выполнении. Данное исследование включается в изучение проблемы адаптационной способности нервно-мышечной системы с учетом вязкости соединительнотканых структур [5], утомления, восстановления. Проблема регуляции ДД замыкается на нейроне, как базовом элементе нейро-моторного аппарата. Возникают вопросы мембранной нейрорецепции, электрической активности нейрона, синаптической передачи, пластичности и формирования следовых процессов [2]. Информация приводит к необходимости моделирования нейрона как одного из главных регуляторов ДД. Рационально организованные ДД оказывают прогрессивную пользу для здоровья [3, 6].

Сигналы от рецепторов мышечных волокон, сухожилий и суставов информируют нейроны о ДД и совместно с продолговатым мозгом осуществляют регуляцию скелетных мышц. В частности, вестибулярные ядра усиливают тонус мышц-разгибателей, что важно для обеспечения баланса общего центра давления в динамических ситуациях и позах

спортсменов. Черная субстанция среднего мозга участвует в координировании ДД и регулирует тонус мышц. Красноядерный спинномозговой путь служит началом мотонейронных интеграций спинного мозга и регуляции тонуса сгибателей. Ретикулярная формация оказывает активирующее влияние на мотонейроны спинного мозга, усиливая тонус мышц в условиях ДД. Бледное ядро детерминирует ритмические двигательные действия спортсмена, а полосатое ядро оказывает ингибирующее влияние на кору больших полушарий. мозжечок обеспечивает СКУ посредством межмышечных и внутримышечных интеграций. Можно полагать, что интегративная деятельность организма спортсменов обеспечивается многоуровневой системой регуляции СКУ, программирования нейронной обработки сигналов, моделирования, обратных афферентаций и сенсорных коррекций [6].

**Материалы и методы.** Обследовались студентки 19–20 лет, посещающие занятия по физической культуре, первой и второй групп здоровья в количестве 16 человек. Индекс массы тела составлял  $20,15 \pm 0,89$  у. е. и относился к нормальному пищевому статусу. Для оценки изокинетического движения в плечевом суставе использовался мультисуставный комплекс BiodexSystem 4 Pro (Biodex MedicalSystems, Inc., США). Регистрировалась угловая скорость (вращающий момент и его пик), определялась средняя мощность, оценивалась сумма ДД (с). Кроме этого, на диагностирующей установке SCHILLER CARDIOVIT CS-200 Ergo-Spiro (Швейцария) определялась частота сердцебиений в покое, максимальная ЧСС и после 30 с реституции. Из положения «сидя» студентки выполняли сгибание-разгибание в плечевом суставе в 3 подхода по 2 мин каждый, с различной угловой скоростью (вращающий момент) в изокинетическом режиме. Первый подход: средней мощности – 120 грд/с; второй подход максимальной мощности – 45 грд/с; третий подход субмаксимальной мощности – 75 грд/с.

**Результаты.** Результаты исследования представлены в таблице. При анализе полученных данных рассчитывался коэффициент разницы для больших групп мышц  $\leq 15$  %, малых групп мышц  $\leq 20$  %, процент дефицита от – 10 до +10 %, максимальный вращающий момент, указывающий на максимальную силовую способность, время, необходимое для

его достижения, угол максимального вращающего момента, отношение работы к массе тела, средняя мощность, время ускорения, торможения, диапазон движения, вращающий момент с эффектом гравитации.

**Обсуждение.** Как видно из таблицы, студентки выполняли ДД в аэробном режиме. Оценка функционального состояния по частоте сердечных сокращений свидетельствует о хорошей восстанавливаемости, однако разброс показателей ЧСС через 30 с значительно превышает фоновые значения. В момент вращения угловая скорость была одинаковой при сгибании и разгибании, а пик вращательного момента (Nm) при разгибании левого плечевого сустава существенно превышал аналогичный при сгибании ( $p \leq 0,001$ ). В плечевом правом суставе достоверные различия выявились при угловой скорости 75 и 120 грд/с, а при 45 грд/с на уровне тенденции. Такой пик вращательного момента при разгибании можно объяснить большим количеством и силой мышц, участвующих в разгибании: широчайшая мышца спины, иннервируемая грудным и грудоспинальным нервом С6–С8. Она берет начало от остистых отростков позвонков ThVIII до крестца. От позвонков в твердый апоневроз поясничной фасции и с 3–4 зубцов последних 3–4 ребер. Окончания мышцы находятся в гребне малого бугорка плечевой кости. Широчайшая мышца спины принимает участие в поддержании позы и ее функциональные силовые способности важны в обеспечении акта сидения.

Средняя мощность при включении первого плечевого сустава при сгибании-разгибании статистически значимо различалась в угловых скоростях 75 и 120 грд/с ( $p \leq 0,05$ ), а при 45 грд/с возрастала на уровне тенденции. В левом плечевом суставе при сгибании-разгибании различия при всех угловых скоростях были достоверны ( $p \leq 0,01$ ). Средняя мощность правого сустава при сгибании существенно превосходит данные левого сустава, а при разгибании достоверно превышает значения левого сустава, когда угловая скорость была 45 грд/с. Средняя мощность характеризует быстроту включения силовых способностей.

Пик вращающего момента при сгибании и разгибании правого плечевого сустава существенно возрастал во втором случае (разгибание) при угловой скорости 75 и 120 грд/с ( $p \leq 0,05$ ) и на уровне тенденции при 45 грд/с.

Основные морфофункциональные и биомеханические характеристики студенток при выполнении двигательного действия в плечевом суставе

Длина тела, см	Масса тела, кг	Сустав	ЧСС покоя, уд./мин	ЧСС максимальное, уд./мин	ЧСС восстановления, 30 с, уд./мин	Изокинетическое движение	Угловая скорость (вращающий момент), град/с	Пик вращающего момента, нм	Средняя мощность, Вт	Пик вращающего момента, /Вт (%)	Максимальное повторение, сумма работ
164,40 ± 1,99	54,40 ± 0,80	Плечевой- правый	85,40 ± 1,58	143,90 ± 6,31	86,90 ± 3,11	Сгибание ↑	75	18,14 ± 2,13	8,80 ± 1,57	33,89 ± 4,10	20,68 ± 2,59
							120	18,70 ± 2,85	10,48 ± 2,29	34,91 ± 5,45	17,92 ± 3,17
							45	20,71 ± 2,45	8,14 ± 1,12	38,85 ± 5,10	21,83 ± 2,43
						Разгибание ↓	75	25,87 ± 2,51	13,83 ± 2,16	48,11 ± 4,36	31,71 ± 4,28
							120	25,41 ± 2,00	15,63 ± 2,29	47,17 ± 3,40	27,88 ± 3,47
							45	23,83 ± 1,40	8,91 ± 1,10	44,82 ± 2,38	27,63 ± 3,06
		Плечевой- левый	85,40 ± 1,58	148,80 ± 7,88	83,70 ± 2,12	Сгибание ↑	75	11,89 ± 1,07	3,75 ± 0,37	22,16 ± 2,06	16,12 ± 5,41
							120	13,09 ± 0,97	5,38 ± 1,05	24,28 ± 1,69	11,80 ± 1,34
							45	14,77 ± 1,05	4,57 ± 0,43	27,58 ± 1,99	15,61 ± 0,69
						Разгибание ↓	75	26,79 ± 1,77	14,39 ± 1,66	45,26 ± 3,92	29,06 ± 3,10
							120	28,16 ± 1,53	17,13 ± 1,21	52,51 ± 2,87	28,36 ± 1,63
							45	31,04 ± 1,52	12,67 ± 0,61	57,91 ± 2,64	35,11 ± 1,60

## Интегративная физиология

В левом плечевом суставе в условиях сгибания показатели были ниже по сравнению с правым плечевым суставом ( $p \leq 0,05$ ) и достоверно выше при разгибании ( $p \leq 0,01-0,001$ ). Распределение показателей средних значений было большим в правом плечевом суставе.

Суммарная мышечная сила в повторе с максимально высокой работой при сгибании правого плечевого сустава была достоверно ниже аналогичной при разгибании в условиях угловой скорости 75 и 120 град/с ( $p \leq 0,05-0,01$ ) и на уровне  $p \leq 0,05$  при вращающем моменте 45 град/с. Еще больше различия выявлены в левом плечевом суставе ( $p \leq 0,01-0,001$ ). Работа отображает способность мышц генерировать максимальную силу во всем диапазоне движения.

**Заключение.** Таким образом, результаты исследования выявили профильную асимметрию, обоснованную генотипически и фенотипически, рассматривая ДД как специфическое поведение человека, связанное со здоровьем.

В исследовании принимали участие студентки первой (12 %) и второй (48 %) групп здоровья. К сожалению, вынуждены констатировать, что 40 % студентов относились к СМГ (специальной медицинской группе) по допуску к занятиям по физическому воспитанию. Недельный объем двигательной активности ровняется 6 ч. При этом около полови-

ны обследуемых девушек делали утреннюю гимнастику (20 мин) с набором ДД вращательного вектора и стретчинга. Вот поэтому актуализируются исследования в области поведенческой физиологии и медицины (исследования в СМГ), которая занимает важное место в организации здорового стиля жизни, рационального поведения.

### Литература

1. Алан, Дж. Мак-Комас *Скелетные мышцы (строение, функции): моногр.* / Дж. Мак-Комас Алан. – Киев: Олимп. лит., 2001. – 406 с.
2. Александров, Ю.М. *Нейрон. Обработка сигналов. Пластичность. Моделирование. Фундаментальное руководство* / Ю.М. Александров, К.В. Анохин, Б.Н. Безденежных и др. – Тюмень: Изд-во Тюмен. гос. ун-та, 2008. – 548 с.
3. Логинов, С.И. *Физическая активность: Методы оценки и коррекция* / С.И. Логинов. – Сургут: Изд-во СУрГУ, 2005. – 342 с.
4. Янда, В. *Функциональная диагностика мышц* / В. Янда. – М.: Эксмо, 2010. – 352 с.
5. Donatelli, R. *Sports – specific rehabilitation* / R. Donatelli. – USA, 2007. – 336 p.
6. *National Institute of Health Consensus Development Panel on Physical Activity and Cardiovascular Health. Physical activity and Cardiovascular Health.* – 1996. – № 276. – P. 241–246.

**Исаев Александр Петрович**, доктор биологических наук, профессор, директор научно-исследовательского центра спортивной науки, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), isaeva-susu@yandex.ru.

**Гайнулин Руслан Анварович**, кандидат биологических наук, доцент, заведующий кафедрой физической культуры, Башкирский государственный медицинский университет (Уфа, Республика Башкортостан), nullin@mail.ru.

**Клещенкова Наталья Евгеньевна**, аспирант кафедры теории и методики физической культуры и спорта, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), natali-nj@mail.ru.

**Ушаков Александр Сергеевич**, аспирант кафедры теории и методики физической культуры и спорта, Южно-Уральский государственный университет (Челябинск), ushakovas74@mail.ru.

*Поступила в редакцию 17 июня 2015 г.*

## BIOMECHANICAL FEATURES OF REGULATION OF SHOULDER BENDING AND EXTENSION IN WOMEN STUDENTS AGED 19–20

A.P. Isaev, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, [tmfcs@mail.ru](mailto:tmfcs@mail.ru),  
R.A. Gajnullin, Bashkir State Medical University, Ufa, Republic of Bashkortostan, [nullin@mail.ru](mailto:nullin@mail.ru),  
N.E. Kleshhenkova, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, [natali-nj@mail.ru](mailto:natali-nj@mail.ru),  
A.S. Ushakov, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, [ushakovas74@mail.ru](mailto:ushakovas74@mail.ru)

Aim: to measure speed-force parameters of dynamical features of shoulder flexion and extension in women students aged 19–20 engaged in physical education. Our examination involved women students of South Ural State University aged 19–20 who attended PE classes and belonged to the first (12 %) and the second (48 %) health groups meanwhile 40 % students belonged to special health group; the total number of research subjects was 16. To estimate isokinetic shoulder movement we used BiodexSystem 4 Pro complex, to measure heart rate we used SCHILLER CARDIOVIT CS-200 Ergo-Spiro diagnostic equipment. Analysis of the obtained data involved calculation of differential factor for large sets of muscles  $\leq 15$  %, small sets of muscles  $\leq 20$  %, deficiency percentage – 10 to +10 %, maximum rotating torque, time to reach the torque, angle of the maximum rotating torque, work to body mass ratio, mean power, acceleration and deceleration time, movement range, gravity effect rotating torque. The obtained results allowed the most precise description of biomechanical features of shoulder flexion and extension. The examined women students performed aerobic motor actions (MA), and as we estimated the functional status by the heart rate we observed the good restoration ability levels. The analysis of the obtained results showed the profile asymmetry that was based on special genotype and phenotype as long as we considered MA as a specific health-associated human behaviour.

*Keywords: motor action regulation, neuromotor maintenance, adaptation capability, neuronal network, joints, angular speed, power, muscular strength, correction, health groups, flexion, extension.*

### References

1. Mak-Komas A.Dzh. *Skeletnye myshtsy (stroenie, funktsii)* [Skeletal Muscle (Structure, Function)]. Kiev, Olympic Literature Publ., 2001. 406 p.
2. Aleksandrov Yu.M., Anokhin K.V., Bezdenezhnykh B.N. *Neyron. Obrabotka signalov. Plastichnost'. Modelirovanie. Fundamental'noe rukovodstvo* [Neuron. Signal Processing. Plasticity. Simulation. The Fundamental Management]. Tyumen', Tyumen State University Publ., 2008. 548 p.
3. Loginov S.I. *Fizicheskaya aktivnost': Metody otsenki i korrektsiya* [Physical Activity. Methods of Evaluation and Correction]. Surgut, Surgut State University Publ., 2005. 342 p.
4. Yanda V. *Funktsional'naya diagnostika myshts* [Functional Diagnostics Muscle]. Moscow, Eksmo Publ., 2010. 352 p.
5. Donatelli R. *Sports – Specific Rehabilitation*. USA, 2007. 336 p.
6. National Institute of Health Consensus Development Panel on Physical Activity and Cardiovascular Health. *Physical Activity and Cardiovascular Health*, 1996, no. 276, pp. 241–246.

Received 17 June 2015

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Биомеханические характеристики регуляции сгибания и разгибания рук в плечевых суставах студентов в возрасте 19–20 лет / А.П. Исаев, Р.А. Гайнулин, Н.Е. Клещенкова, А.С. Ушаков // Вестник ЮУрГУ. Серия «Образование, здравоохранение, физическая культура». – 2015. – Т. 15, № 3. – С. 12–17. DOI: 10.14529/ozfk150302

### FOR CITATION

Isaev A.P., Gajnullin R.A., Kleshhenkova N.E., Ushakov A.S. Biomechanical Features of Regulation of Shoulder Bending and Extension in Women Students Aged 19–20. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Education, Healthcare Service, Physical Education*, 2015, vol. 15, no. 3, pp. 12–17. (in Russ.) DOI: 10.14529/ozfk150302