

*Меркулова В.Б.,
студентка 1-го курса*

ФГБОУ ВО РГГМУ

г. Санкт-Петербург

Унковский Д.Р.,

ФГБОУ ВО РГГМУ

студент 1-го курса

г. Санкт-Петербург

Кондрашев П.В.,

Старший преподаватель кафедры физической культуры

и безопасности жизнедеятельности

ФГБОУ ВО РГГМУ г. Санкт-Петербург

Научный руководитель: Г.А. Яковлев

БИОМЕХАНИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ВЕКТОРОВ СИЛ И СИСТЕМ РЫЧАГОВ В АРМРЕСТЛИНГЕ

***Аннотация:** Армрестлинг является уникальной дисциплиной, в которой исход поединка определяется не только абсолютной мышечной силой, но и способностью спортсмена эффективно управлять сложной системой биомеханических рычагов и векторов сил. С точки зрения физики, поединок за столом — это динамическое противостояние двух многозвенных кинематических цепей, стремящихся перевести систему из состояния неустойчивого равновесия в заданную конечную точку. Работа посвящена детерминации силовых характеристик верхних конечностей, рассматриваемой теории рычагов, кинематики крутящего момента и патомеханики повреждений.*

***Ключевые слова:** Армрестлинг, биомеханика, рычаг, борьба верхом, борьба в крюк, сила, техника.*

*Merkulova V.B.,
1st year students, RSHU*

*Unkovskii D.R.,
RSHU, 1st year students*

P. V. Kondrashev

Senior Lecturer of the Department of Physical Culture and Life Safety

RSHU, Saint-Petersburg

Academic advisor: G.A. Jakovlev

BIOMECHANICAL ANALYSIS OF FORCE VECTORS AND LEVERAGE SYSTEMS IN ARM WRESTLING

***Annotation:** Arm wrestling is a unique discipline in which the outcome of a match is determined not only by absolute muscular strength but also by the athlete's ability to effectively control a complex system of biomechanical levers and force vectors. From a physics perspective, a match at a table is a dynamic confrontation between two multi-link kinematic chains, striving to move the system from a state of unstable equilibrium to a predetermined endpoint. The work is devoted to the determination of force characteristics upper limb mechanics, lever theory, torque kinematics, and injury pathomechanics.*

***Keywords:** Arm wrestling, biomechanics, lever, top-heel wrestling, hook wrestling, strength, technique.*

Классификация и биомеханика рычажных систем верхней конечности

Движение сегментов человеческого тела осуществляется через систему рычагов, состоящую из костей, суставов и мышц. В контексте армрестлинга костные структуры выступают в качестве жестких рычажных элементов, чье вращение центрировано в суставных сочленениях[4] В зависимости от

взаимного расположения этих элементов, в биомеханике спорта выделяют три основных типа рычагов, каждый из которых находит свое специфическое применение в технике борьбы.

Таблица 1.

Типы рычагов

Тип рычага	Расположение элементов	Пример в армрестлинге	Механический эффект
1-й род	Опора между силой и нагрузкой	Разгибание трицепсом в «жиме»	Изменение направления силы
2-й род	Нагрузка между опорой и силой	Работа кистью в технике «верхом»	Выигрыш в силе ($MA > 1$)
3-й род	Сила между опорой и нагрузкой	Сгибание бицепсом (стандарт)	Выигрыш в скорости и амплитуде

Кинематика крутящего момента и угловых характеристик

Ключевой характеристикой взаимодействий в армрестлинге выступает торк (крутящий момент τ). Данный вектор определяет интенсивность вращательного усилия, прилагаемого к костному рычагу относительно оси сустава

$$\tau = F \cdot r \sin \theta$$

Где F — приложенная сила, r плечо рычага (расстояние от оси вращения до точки приложения силы), θ — угол между вектором силы и плечом рычага[2]

Влияние угла в локтевом суставе на генерацию момента

Эффективность мышц-сгибателей напрямую зависит от текущего угла в суставе. Несмотря на математический оптимум в 90° , когда вектор силы мышцы [2] перпендикулярен кости (синус 90 градусов = 1). В этой позиции плечо силы для бицепса и плечевой мышцы (*brachialis*) является наиболее выгодным.

При изменении угла в сторону острого (менее 90°) или тупого (более 90°) значение синуса уменьшается, что снижает эффективный крутящий момент при той же силе сокращения мышц. Однако в соревновательной практике острый угол в локтевом суставе считается более защищенным. Это объясняется тем, что при остром угле сокращается дистанция между кистью атлета и его плечевым суставом, что позволяет более эффективно подключать к движению мышцы спины и груди, формируя жесткий блок.[2]

Сравнительный анализ эффективности углов

Таблица 2.

Эффективность разных углов

Угол в локте	Механическое состояние	Преимущества	Риски
$45^\circ-60^\circ$	Острый угол (акцент на блоке)	Минимальное плечо сопротивления для соперника	Высокая компрессионная нагрузка на сустав
90°	Пиковая мощность сгибателей	Максимальный крутящий момент бицепса	Переходная фаза, риск «раскрытия» угла

120°+	Тупой угол (критическая зона)	Увеличенная амплитуда для атаки	Механический проигрыш, риск разрыва сухожилий
-------	-------------------------------------	------------------------------------	---

Векторы сил при различных техниках борьбы

В армрестлинге векторы сил распределяются в трех плоскостях, создавая сложную пространственную нагрузку. Основные технические приемы – «в крюк» (*hook*) и «верхом» (*top-roll*) – опираются на фундаментально разные биомеханические стратегии.[2]

Биомеханика техники «в крюк» (*Hook*)

Техника «в крюк» фокусируется на супинации предплечья и интенсивном сгибании кисти. Атлет стремится сократить расстояние между собой и рукой противника, превращая поединок в состязание на выносливость и силу мышц-сгибателей.[2]

В этой позиции основной вектор силы направлен на приведение предплечья к плечу (тяга) и внутрь (боковое давление). Максимальное сокращение длинного сгибателя большого пальца и локтевого сгибателя запястья (FCU) создает вращающий момент, который стремится «скрутить» кисть оппонента внутрь.³ Сокращение дистанции между атлетами в этой технике минимизирует плечо рычага силы соперника, перекладывая нагрузку на бицепс и локтевой сгибатель запястья. С точки зрения распределения нагрузки, техника «в крюк» создает значительные напряжения в области медиальной надмыщелки плечевой кости, что часто приводит к развитию медиального эпикондилита («локоть гольфиста»).[3]

Биомеханика техники «верхом» (*Top-roll*)

Техническая специфика "верха" (*top-roll*) заключается в эксплуатации анатомической длины предплечья. Целью является дестабилизация пальцевого захвата оппонента посредством сочетанной пронации и абдукции кисти.[3]

Атлет прикладывает силу к верхней части кисти соперника, увеличивая плечо сопротивления для его сгибателей. Вектор силы здесь сложный: он сочетает вертикальную составляющую (подъем кисти — *rising*), вращательную (пронация — *pronation*) и горизонтальную (оттяжка на себя — *back pressure*).[3] Основным движителем здесь выступает круглый пронатор (*pronator teres*) и плечелучевая мышца (*brachioradialis*), которая наиболее эффективна именно в нейтральном положении кисти.[3]

Антропометрические факторы и законы физики

Длина сегментов конечностей в армрестлинге является определяющим фактором, задающим базовые параметры системы рычагов. Законы механики объясняют, почему борьба с длинноруким соперником представляет особую сложность для атлетов с короткими конечностями.[4]

Влияние длины предплечья на механическое преимущество

Предплечье атлета выступает в роли плеча сопротивления в рычаге третьего рода. Согласно принципу моментов, чем длиннее предплечье (τ), тем больше крутящий момент (r), создаваемый силой противника на локтевой сустав атлета при той же приложенной F силе.[4]

Однако для атакующего атлета длинное предплечье дает преимущество «высоты». Находясь в захвате, атлет с более длинной рукой может расположить свою кисть выше, что позволяет ему воздействовать на кончики пальцев соперника.[1] Это увеличивает плечо рычага, через которое он воздействует на кисть оппонента, значительно облегчая задачу по ее «вскрытию» (облегчая задачу по дестабилизации захвата и преодолению сопротивления сгибателей кисти оппонента).

Физика длинного рычага и мышечное поперечное сечение

Сложность борьбы с длинноруким соперником обусловлена не только геометрией, но и биологическими закономерностями. Исследования показывают, что при идентичных пропорциях тела более длинные мышцы обладают потенциально большим объемом и способностью генерировать

большую силу за счет большего числа саркомеров, расположенных параллельно и последовательно.[2]

Для компенсации разницы в длине рычага короткоорукому атлету требуется значительно большая площадь поперечного сечения мышц.

Таблица 3.

Сравнение длинного и короткого рычага

Параметр	Длинное предплечье	Короткое предплечье
Рычаг атаки	Выгодный (высокий захват)	Затрудненный
Нагрузка на локоть	Повышенная (большое плечо)	Пониженная
Стратегия борьбы	Атака через пронацию (верхом)	Защита и работа в крюк
Требование к силе	Баланс рычага и мощи	Экстремальная взрывная сила

Основные движители и стабилизаторы

1. Круглый пронатор (*m. pronator teres*): выступает основным вектором создания ротационного усилия. Данные электромиографии (ЭМГ) подтверждают, что в фазе атаки активация этой мышцы возрастает с 30,14 мкВ до 127,3 мкВ. Она обеспечивает пронацию, лишая соперника возможности использовать силу бицепса.

2. Плечелучевая мышца (*m. brachioradialis*): Основной стабилизатор локтевого угла при нейтральном хвате. Она подвергается пиковым нагрузкам в моменты противодействия разгибающему усилию оппонента.

3. Локтевой сгибатель запястья (*m. flexor carpi ulnaris*): Обеспечивает жесткость кисти и удержание «крюка». Эта мышца наиболее подвержена перенапряжению из-за высокой концентрации сил в узкой точке крепления.[6]

4. Большая грудная мышца (*m. pectoralis major*): Основной двигатель бокового давления. Она генерирует силу, передаваемую через плечевую кость на предплечье.[6]

Shoulder Roll и конфликт вращающих моментов

«Опасное положение» (*dangerous position*) возникает, когда атлет разворачивает корпус в сторону от своей руки, при этом плечевой сустав оказывается в положении экстремальной внутренней ротации, а рука зафиксирована силой соперника.

В этот момент плечевая кость превращается в объект, на который действуют два противоположно направленных крутящих момента:

- Внутренний момент: создается мощными мышцами торса атлета (грудная, широчайшая), пытающимися повернуть плечо внутрь.[7]
- Внешний момент: создается силой соперника, приложенной к кисти и передаваемой через предплечье как через рычаг, создавая внешнее вращение в дистальном отделе плеча.[7]

Плечевая кость, представляющая собой полую трубчатую структуру, крайне чувствительна к торсионным (скручивающим) нагрузкам. При достижении критического порога происходит разрушение костной ткани по спиралевидной траектории.[6]

Расчет критического момента силы

Экспериментальные данные и компьютерное моделирование позволяют установить численные значения прочности кости:

- Порог разрушения: крутящий момент, необходимый для инициации спиралевидного перелома у взрослого мужчины, составляет в среднем 51–70 Нм.[7]

- Реальная нагрузка: если противник прикладывает силу в 200 Н (около 20 кг) к предплечью длиной 40 см, создаваемый момент уже составляет 80 Нм, что превышает предел прочности кости.[7]

Особенно опасным фактором является внезапное изменение характера нагрузки с концентрического на эксцентрический. Если мышцы-стабилизаторы не успевают адаптироваться к рывку соперника, вся энергия крутящего момента моментально переносится на костный скелет.[8]

Таблица 4.

Показатели расчетов критического момента силы

Показатель	Значение	Описание
Критический момент (Nm)	51–70	Порог возникновения спиралевидного перелома плеча
Типичное усилие атаки (N)	200–500	Сила, прикладываемая к кисти в поединке
Локализация перелома	Дистальная 1/3	Место наименьшего диаметра и максимального стресса кости
Фактор риска	Shoulder Roll	Разворот корпуса при неподвижной руке

Выводы и практические рекомендации

Биомеханический анализ армрестлинга демонстрирует, что успех в этом виде спорта является производной от умения атлета оптимизировать свои рычажные системы.

1. Управление рычагами: Атлет должен стремиться к сокращению собственного плеча сопротивления (острый угол в локте, глубокий захват) и одновременному увеличению плеча сопротивления для противника (атака пальцев, высокая постановка кисти).[9]

2. Векторный баланс: Тренировочный процесс должен включать не

только развитие силы сгибателей, но и акцентированную работу над пронаторами и мышцами, обеспечивающими абдукцию кисти. Развитие этих «вторичных» векторов позволяет нейтрализовать превосходство соперника в чистой силе бицепса.[9]

3. Безопасность и профилактика: Понимание физики «опасного положения» является обязательным элементом подготовки. Спортсмены должны избегать разрыва линии «плечо-кисть» и поддерживать высокий уровень коактивации мышц плеча и предплечья для защиты костных структур от торсионных перегрузок.[9]

4. Антропометрическая адаптация: Спортсмены с длинными конечностями должны фокусироваться на дистанционной борьбе (top-roll), в то время как атлетам с короткими рычагами следует развивать навыки борьбы «в крюк», где преимущество длинного рычага соперника нивелируется.[10]

Список литературы:

1. Arm Wrestling and Torque // Let's Talk Science URL: <https://letstalkscience.ca/educational-resources/stem-explained/arm-wrestling-and-torque> (дата обращения: 29.04.2026).

2. Kinetics: Moment of Force // E-learning Masaryk University — Учебные материалы по биомеханике движений. — URL: <https://www.fsps.muni.cz/emuni/data/reader/book-2/30.html> (дата обращения: 29.04.2026).

3. Arm Wrestling Strength Training: Guide & Program // StrengthLog — Специализированный портал о силовых тренировках. — URL: <https://www.strengthlog.com/arm-wrestling-strength-training/> (дата обращения: 29.04.2026).

4. Arm Wrestling Techniques and Tips // Scribd: Digital Library — Практическое руководство по технике армрестлинга. — URL: <https://www.scribd.com/document/337962467/Arm-Wrestling-Book> (дата

обращения: 29.04.2026).

5. Voluntary Muscle Activity and Physiology // Iowa State University Pressbooks URL: <https://iastate.pressbooks.pub/curehumanphysiology/chapter/voluntary-muscle-activity/> (дата обращения: 29.04.2026).

6. The Physics of the Human Body // Educational Portal URL: <http://images.pcmac.org/SiSFiles/Schools/IL/EmeraldCity/JohnAdamsHigh/Uploads/Presentations/The%20Physics%20of%20the%20Human%20Body.pdf> (дата обращения: 29.04.2026).

7. Torque, arm length, and mechanical advantage // Armwrestling Community (Reddit) Анализ механического преимущества в экспертном сообществе. URL: https://www.reddit.com/r/armwrestling/comments/yunte7/torque_arm_length_and_mechanical_advantage/ (дата обращения: 30.04.2026).

8. Biomechanical Advantage in Various Domains // Eric Kim Biomechanics — Блог-платформа об эффективности движений. — URL: <https://erickimphotography.com/maximum-biomechanical-advantage-across-various-domains/> (дата обращения: 30.04.2026).

9. Electromyogram (EMG) Activity while Arm Wrestling // iWorx Systems: Lab Exercises URL: <https://www.iworx.com/documents/LabExercises/EMG-ArmWrestling.pdf> (дата обращения: 29.04.2026).

10. A list of all muscles involved in armwrestling // Armwrestling Research (Reddit) Систематизированный перечень мышечных групп, задействованных в поединке. URL: https://www.reddit.com/r/armwrestling/comments/10nzou4/a_list_of_all_muscles_involved_in_armwrestling/ (дата обращения: 29.04.2026).