

Устойчивость равновесия системы «спортсмен-штанга» при выполнении различных вариантов приседания со штангой

Самсонова Алла Владимировна, доктор педагогических наук, профессор

Захаров Федор Евгеньевич, кандидат педагогических наук

Сагидуллин Альберт Азатович

Самсонов Михаил Александрович, кандидат педагогических наук

Национальный государственный Университет физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург

Аннотация. Приседание со штангой – одно из самых популярных упражнений, применяемых в силовой подготовке спортсменов в различных видах спорта. При выполнении этого двигательного действия очень важна устойчивость равновесия системы «спортсмен-штанга», так как её потеря может привести к серьёзным травмам.

Цель исследования – оценить степень устойчивости равновесия системы «спортсмен-штанга» в различных вариантах приседания со штангой (на плечах и на груди) у спортсменов различной квалификации.

Методы и организация исследования. В экспериментах принимали участие спортсмены низкой квалификации, а также пауэрлифтеры и тяжелоатлеты высокой квалификации. Применили фото- и видеосъёмку, а также biomechanical modeling посредством компьютерной программы «Биомеханика пауэрлифтинга». Использовали тестирование и методы математической статистики.

Результаты исследования и выводы. Установлено, что спортсмены низкой и высокой квалификации демонстрируют практически одинаковую степень устойчивости равновесия системы «спортсмен-штанга» в сагиттальной плоскости при выполнении обоих вариантов приседания со штангой. Устойчивость равновесия системы «спортсмен-штанга» в переднем направлении достоверно ниже, чем в заднем, у всех спортсменов в обоих вариантах приседания со штангой. Это обстоятельство увеличивает вероятность падения спортсмена вперед при выполнении приседаний со штангой, особенно если масса штанги большая. В связи с этим, при выполнении приседаний со штангой рекомендуется применять дополнительную страховку и/или уменьшение массы штанги у спортсменов, имеющих угол устойчивости в переднем направлении близкий к критическому значению.

Ключевые слова: пауэрлифтинг, тяжелая атлетика, приседания со штангой, равновесие, biomechanics спорта.

Stability of the equilibrium of the "athlete-barbell" system during execution of various types of the barbell squat

Samsonova Alla Vladimirovna, doctor of pedagogical sciences, professor

Zakharov Fedor Evgenievich, candidate of pedagogical sciences

Sagidullin Albert Azatovich

Samsonov Mikhail Aleksandrovich, candidate of pedagogical sciences

Lesgaft National State University of Physical Education, Sport and Health, St. Petersburg

Abstract. The barbell squat is one of the most popular exercises used in the strength training of athletes across various sports. When performing this movement, the stability of the "athlete-barbell" system is crucial, as a loss of balance can lead to serious injuries.

The purpose of the study is to assess the degree of stability of the "athlete-barbell" system equilibrium in various types of barbell squats (on the shoulders and on the chest) among athletes of different skill levels.

Research methods and organization. The experiments involved athletes of low qualification, as well as high-level powerlifters and weightlifters. Photo and video recording were used, along with biomechanical modeling through the computer program 'Powerlifting Biomechanics.' Testing and methods of mathematical statistics were employed.

Research results and conclusions. It has been established that athletes of both low and high skill levels exhibit virtually the same degree of balance stability of the "athlete-barbell" system in the sagittal plane when performing both variations of the barbell squat. The balance stability of the "athlete-barbell" system in the forward direction is significantly lower than in the backward direction for all athletes in both variations of the barbell squat. This circumstance increases the likelihood of the athlete falling forward when performing barbell squats, especially if the barbell is heavy. In this

regard, when performing barbell squats, it is recommended to use additional spotting and/or reduce the barbell weight for athletes whose forward stability angle is close to the critical value.

Keywords: powerlifting, weightlifting, barbell squats, balance, sports biomechanics.

ВВЕДЕНИЕ. Приседание со штангой – одно из самых популярных упражнений, применяемых в силовой подготовке спортсменов в различных видах спорта. Оно входит в состав силового троеборья (пауэрлифтинга), а также применяется в большинстве силовых видов спорта, в фитнесе и бодибилдинге. Это связано с тем, что при выполнении приседания со штангой активны крупные группы мышц, в результате чего возрастает их сила [1, 2]. В тренировочном процессе спортсмены используют различные вариации этого упражнения. Из них наиболее популярны: приседания со штангой на плечах и приседания со штангой на груди (фронтальные приседания).

Биомеханический анализ различных вариантов приседаний со штангой производился в разных аспектах во множестве исследований. Так, например, в исследовании A.A. Braidot et al. [3] сравнивались кинематические и динамические характеристики двигательных действий спортсменов при выполнении этих упражнений. В результате было установлено, что при приседании со штангой на груди по сравнению с приседанием со штангой на плечах более активны мышцы, обслуживающие коленный сустав.

В публикации J.C. Gullett et al. [4] было показано, что для людей с проблемами коленных суставов фронтальные приседания более предпочтительны по сравнению с приседаниями со штангой на плечах.

Согласно результатам исследования D. Diggin et al. [5] приседания со штангой на груди являются более безопасной альтернативой приседаниям со штангой на плечах, так как при их выполнении возникает наименьший риск травмы позвоночника и коленных суставов. Поддержание вертикального положения корпуса во фронтальных приседаниях способствует лучшему распределению нагрузки на суставы нижних конечностей.

Следует, однако, отметить, что при выполнении различных вариантов этих силовых упражнений очень важна устойчивость равновесия системы «спортсмен-штанга», так как её потеря может привести к серьёзным травмам. Однако этому вопросу в научных публикациях уделяется мало внимания. Помимо этого, не удалось найти ни одной публикации, в которых указывались бы количественные показатели степени устойчивости системы «спортсмен-штанга» при выполнении различных вариантов приседаний. Единственной публикацией, отражающей этот вопрос, является статья M. Rippetoe [6], в которой указано, что при различных вариантах приседания со штангой в нижнем положении спортсмена линия силы тяжести штанги проходит через среднюю треть его стопы.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ – оценка степени устойчивости равновесия системы «спортсмен-штанга» в различных вариантах приседания со штангой (на плечах и на груди) у спортсменов различной квалификации.

ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ:

1. Сравнить степень устойчивости равновесия системы «спортсмен-штанга» у спортсменов различной квалификации в различных вариантах приседания со штангой.

2. Оценить степень устойчивости равновесия системы «спортсмен-штанга» в переднем и заднем направлении в различных вариантах приседания со штангой.

ОРГАНИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЯ. Исследования проводились на базе Национального государственного университета физической культуры, спорта и здоровья имени П.Ф. Лесгафта, Санкт-Петербург, на кафедре биомеханики. В исследовании принимали участие семь атлетов низкой квалификации (возраст – 26 ± 3 года, рост – $179,4\pm2,4$ см, масса спортсмена – 77 ± 3 кг. Отношение массы штанги к массе спортсмена составляло 0,9) и 11 пауэрлифтеров и тяжелоатлетов высокой квалификации (два спортсмена первого разряда; восемь спортсменов – кандидатов в мастера спорта и один мастер спорта). Возраст спортсменов высокой квалификации составлял $21,4\pm1,1$ год, рост – $177,1\pm1,5$ см, масса спортсмена – $83,5\pm2,7$ кг. Отношение массы штанги к массе спортсмена составляло 1,2.

Перед началом эксперимента с каждым спортсменом был проведен инструктаж о порядке выполнения упражнений и важности соблюдения техники безопасности. Для повышения точности дальнейшего биомеханического анализа на теле исследуемого были размечены центры масс (ЦМ) звеньев тела и оси вращения в суставах.

В ходе исследования анализировались два варианта приседаний со штангой: приседания со штангой на плечах (штанга на верхней части трапециевидной мышцы) и приседания со штангой на груди (фронтальные приседания). Каждый испытуемый выполнял по три повторения в каждом из вариантов приседаний с отдыхом между попытками до полного восстановления, но не более 5 минут. Масса штанги при выполнении спортсменом обоих вариантов приседаний была одинаковой.

МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. В исследовании были использованы фото- и видеосъемка, а также биомеханическое моделирование посредством компьютерной программы «Биомеханика пауэрлифтинга» [7].

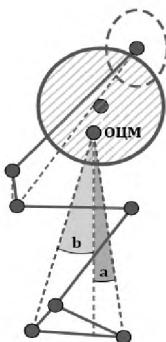
Видеосъемка приседаний со штангой производилась в сагиттальной плоскости камерой Sony Cyber-shot DSC-RX100M6 с частотой 250 кадров в секунду. После этого при выполнении анализа данных из видео выделялись статические положения спортсмена в нижнем положении приседания со штангой, которые сохранялись в формате jpg. После загрузки фотоизображений статических положений спортсменов в компьютерную программу фиксировались координаты 11 маркеров на теле спортсмена и штанге, а также вводились данные о массе штанги и спортсмена. После этого в компьютерной программе рассчитывались координаты положения ОЦМ (общего центра масс) системы «спортсмен-штанга», а также показатели, характеризующие степень устойчивости равновесия системы «спортсмен-штанга» (углы устойчивости и угол равновесия) (рис. 1).

Статистическая обработка экспериментальных данных включала расчет числовых характеристик выборки: среднего арифметического и ошибки среднего арифметического. Проверка экспериментальных распределений на соответствие нормальному закону осуществлялась посредством батареи тестов статистического пакета STATGRAPHICS CENTURION. После этого при проверке статистических гипотез использовались: критерий Стьюдента (связанные выборки) и критерий Вилкоксона.



Рисунок 1 – Положение спортсмена в нижней точке приседания со штангой на плечах (слева) и на груди (справа) и схема определения биомеханических показателей и показателей устойчивости равновесия системы «спортсмен-штанга» в программе «Биомеханика пауэрлифтинга»

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ. Первая задача исследования состояла в сравнении степени устойчивости равновесия системы «спортсмен-штанга» спортсменов различной квалификации в различных вариантах приседания со штангой. Как было показано выше, углы устойчивости (рис. 2) и угол равновесия (угол равновесия равен сумме углов устойчивости в переднем и заднем направлении) являются важными показателями устойчивости равновесия спортсмена при выполнении приседаний со штангой. Угол равновесия характеризует запас устойчивости тела в рассматриваемой плоскости. Чем больше этот угол, тем более устойчивой является поза, что позволяет спортсмену сохранять равновесие.



Обозначения: а – угол устойчивости в переднем направлении; б – угол устойчивости в заднем направлении; ОЦМ – общий центр масс системы «спортсмен-штанга»

Рисунок 2 – Схема определения показателей устойчивости при выполнении спортсменом приседания со штангой на плечах (масса штанги 100 кг, масса спортсмена – 70 кг)

В таблице 1 представлены результаты оценки устойчивости равновесия системы «спортсмен-штанга» при выполнении различных вариантов силовых упражнений спортсменами низкой и высокой квалификации.

Спортсмены низкой квалификации

Угол устойчивости в переднем направлении (a°) в приседаниях со штангой на плечах равен $8,5 \pm 0,6^{\circ}$, в приседаниях со штангой на груди – $7,0 \pm 0,7^{\circ}$ ($p > 0,05$). Из этого следует, что устойчивость равновесия системы «спортсмен-штанга» в переднем направлении в обоих вариантах силовых упражнений приблизительно одинакова.

Таблица 1 – Характеристики устойчивости равновесия системы «спортсмен-штанга» в нижней точке приседания со штангой в сагиттальной плоскости, $\bar{x} \pm S_{\bar{x}}$

Показатель	Приседание со штангой на плечах	Приседание со штангой на груди	Значение критерия	Статистический вывод
Спортсмены низкой квалификации, масса штанги $70,0 \pm 2,1$ кг (n=7)				
Угол устойчивости в переднем направлении, a°	$8,5 \pm 0,6$	$7,0 \pm 0,7$	$T=0,245$	$p > 0,05$
Угол устойчивости в заднем направлении, b°	$13,1 \pm 0,6$	$13,1 \pm 1,9$	$W=0,624$	$p > 0,05$
Угол равновесия (сумма углов устойчивости) $^\circ$	$21,6 \pm 0,7$	$21,8 \pm 0,5$	$T=0,715$	$p > 0,05$
Спортсмены высокой квалификации, масса штанги 100 ± 4 кг (n=11)				
Угол устойчивости в переднем направлении, a°	$8,3 \pm 0,7$	$7,8 \pm 0,6$	$T=0,577$	$p > 0,05$
Угол устойчивости в заднем направлении, b°	$13,4 \pm 1,1$	$13,8 \pm 0,7$	$W=0,270$	$p > 0,05$
Угол равновесия (сумма углов устойчивости) $^\circ$	$21,6 \pm 0,5$	$21,6 \pm 0,4$	$T=0,593$	$p > 0,05$

Примечание: \bar{x} – среднее арифметическое; $S_{\bar{x}}$ – ошибка среднего арифметического; n – объем выборки; T – критерий Стьюдента; W – критерий Вилкоксона.

Угол устойчивости системы «спортсмен-штанга» в заднем направлении (b°) при выполнении приседания со штангой на плечах равен $13,1 \pm 0,6^\circ$, а приседания со штангой на груди – $13,1 \pm 1,9^\circ$. Различие углов устойчивости в заднем направлении в обоих вариантах приседаний статистически недостоверно ($p > 0,05$).

Угол равновесия при выполнении приседаний со штангой на плечах равен $21,6 \pm 0,7^\circ$, а в приседании со штангой на груди – $21,8 \pm 0,5^\circ$, различие статистически недостоверно, $p > 0,05$. Таким образом, степень устойчивости равновесия обоих вариантов приблизительно одинакова, при этом устойчивость равновесия системы «спортсмен-штанга» у спортсменов низкой квалификации в переднем направлении достоверно ($p < 0,001$) меньше, чем в заднем.

Спортсмены высокой квалификации

Спортсмены высокой квалификации при выполнении различных вариантов силовых упражнений демонстрируют очень близкие по значениям показатели устойчивости равновесия системы «спортсмен-штанга» по сравнению со спортсменами низкой квалификации.

Угол устойчивости в переднем направлении (a°) в приседаниях со штангой на плечах равен $8,3 \pm 0,7^\circ$, в приседаниях со штангой на груди – $7,8 \pm 0,6^\circ$ ($p > 0,05$). Из этого следует, что устойчивость равновесия системы «спортсмен-штанга» в переднем направлении в обоих вариантах приседаний со штангой приблизительно одинакова.

Угол устойчивости равновесия системы «спортсмен-штанга» в заднем направлении (b°) при выполнении спортсменом приседания со штангой на плечах равен $13,4 \pm 1,1^\circ$, а в приседаниях со штангой на груди – $13,8 \pm 0,7^\circ$. Различие в углах устойчивости в заднем направлении в обоих вариантах приседаний со штангой статистически недостоверно ($p > 0,05$).

Угол равновесия при выполнении приседания со штангой на плечах равен $21,6 \pm 0,5^\circ$, а в приседании со штангой на груди – $21,6 \pm 0,4^\circ$, различие статистически недостоверно, $p > 0,05$. Таким образом, степень устойчивости равновесия обоих вариантов приседаний со штангой приблизительно одинакова. При этом устойчивость равновесия системы «спортсмен-штанга» у спортсменов высокой квалификации, как и у спортсменов низкой квалификации, в переднем направлении достоверно ($p < 0,001$) ниже, чем в заднем.

Следует обратить внимание, что угол устойчивости системы «спортсмен-штанга» в переднем направлении в сагиттальной плоскости как у спортсменов низкой квалификации, так и у спортсменов высокой квалификации очень маленький. Его значение меньше, чем в основной стойке у человека без штанги (в основной стойке углы устойчивости в переднем и заднем направлении равны $10\text{--}12^\circ$). Из этого следует, что при выполнении обоих вариантов приседаний со штангой возможна потеря равновесия и травмирование спортсменов.

Так как профессиональные атлеты выполняют приседание со штангой большей массы, но при этом демонстрируют сходные углы устойчивости по сравнению с атлетами низкой квалификации, это косвенно указывает на адаптацию к нагрузке у квалифицированных спортсменов, то есть большую способность сохранять устойчивость при увеличении внешней нагрузки.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ. В связи с тем, что степень устойчивости равновесия системы «спортсмен-штанга» при выполнении приседания со штангой в переднем направлении ниже, чем в заднем, вероятность падения спортсмена вперед при выполнении обоих вариантов упражнения достаточно велика. В связи с этим, при выполнении приседаний со штангой рекомендуется применять дополнительную страховку и/или уменьшать массу штанги у спортсменов, имеющих угол устойчивости в переднем направлении, близкий к критическому значению. Также рекомендуется включать в тренировку специальные упражнения для улучшения координации движений спортсменов.

ВЫВОДЫ. Спортсмены низкой и высокой квалификации демонстрируют довольно близкие показатели степени устойчивости равновесия системы «спортсмен-штанга» в сагиттальной плоскости при выполнении различных вариантов приседаний со штангой. У спортсменов низкой квалификации углы равновесия при выполнении приседаний со штангой на плечах и при выполнении приседания со штангой на груди составляют: $21,6 \pm 0,7^\circ$ и $21,8 \pm 0,5^\circ$ соответственно. У спортсменов высокой квалификации углы равновесия при выполнении приседаний со штангой на плечах и при выполнении приседания со штангой на груди составляют: $21,6 \pm 0,5^\circ$ и $21,6 \pm 0,4^\circ$ соответственно.

Устойчивость равновесия системы «спортсмен-штанга» в переднем направлении достоверно ниже, чем в заднем, как у спортсменов низкой, так и высокой квалификации в обоих вариантах приседания со штангой.

У спортсменов низкой квалификации при приседании со штангой на плечах угол устойчивости в переднем направлении равен $8,5 \pm 0,6^\circ$, в заднем направлении – $13,1 \pm 0,6^\circ$, $p < 0,001$. При приседании со штангой на груди угол устойчивости в переднем направлении равен $7,0 \pm 0,7^\circ$, в заднем направлении – $13,1 \pm 1,9^\circ$, $p < 0,001$.

У спортсменов высокой квалификации при приседании со штангой на плечах угол устойчивости в переднем направлении равен $8,4 \pm 0,7^\circ$, в заднем направлении – $13,5 \pm 1,1^\circ$, $p < 0,001$. При приседании со штангой на груди угол устойчивости в переднем направлении равен $7,6 \pm 0,7^\circ$, в заднем направлении – $13,9 \pm 0,8^\circ$, $p < 0,001$.

Устойчивость равновесия системы «спортсмен-штанга» в переднем направлении в сагиттальной плоскости у всех спортсменов в обоих вариантах приседания со штангой ниже, чем в основной стойке. В связи с этим, при выполнении приседаний со штангой рекомендуется применять дополнительную страховку и/или уменьшение массы штанги у спортсменов, имеющих угол устойчивости в переднем направлении, близкий к критическому значению.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Делавье Ф. Анатомия силовых упражнений для мужчин и женщин. Москва : Рипол-классик, 2006. 144 с. ISBN 5-7905-4204-2.
2. Schoenfeld B. Squatting Kinematics and Kinetics and Their Application to Exercise Performance. DOI 10.1519/JSC.0b013e3181bac2d7 // The Journal of Strength and Conditioning Research. 2010. Vol. 24, No 12. P. 3497–3506.
3. Braidot A. A., Brusa M. H., Lestussi F. E., Parera G. P. Biomechanics of front and back squat exercises. DOI 10.1088/1742-6596/90/1/012009 // Journal of Physics: Conference Series. 2007. Vol. 90 (1). P. 1–8.
4. A biomechanical comparison of back and front squats in healthy trained individuals / J. C. Gullett, M. D. Tillman, G. M. Gutierrez, J. W. Chow. DOI 10.1519/JSC.0b013e31818546bb // Journal of Strength and Conditioning Research. 2008. Vol. 23, No. 1. P. 284–292.
5. A biomechanical analysis of front and back squat: injury implications / D. Digginn, C. O'Regan, N. Whelan [et al.] // Portuguese Journal of Sports Sciences. 2011. Vol. 11, No. 2. P. 643–646.
6. Rippetoe M. Popular Biomechanics // CrossFit Journal. 2007. Issue 55, March. P. 1–5.
7. Самсонов Г. А., Самсонова А. В., Банников А. Д. Компьютерная программа расчета механических характеристик системы «спортсмен-штанга» при выполнении силовых упражнений // Труды кафедры биомеханики университета имени П.Ф. Лесгатта. 2016. Вып.10. С. 28–31. EDN: YLEQQD.

REFERENCES

1. Delavier F. (2006), “The anatomy of strength exercises for men and women”, Moscow, Ripol-classic, 144 p., ISBN 5-7905-4204-2.
2. Schoenfeld B. (2010), “Squatting Kinematics and Kinetics and Their Application to Exercise Performance”, *The Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 24, No 12, pp. 3497–3506, DOI 10.1519/JSC.0b013e3181bac2d7.
3. Braidot A. A., Brusa M. H., Lestussi F. E., Parera G. P. (2007), “Biomechanics of front and back squat exercises”, *Journal of Physics: Conference Series*, Vol. 90, pp. 1–8, DOI 10.1088/1742-6596/90/1/012009.
4. Gullett J. C., Tillman M. D., Gutierrez G. M., Chow J. W. (2009), “A biomechanical comparison of back and front squats in healthy trained individuals”, *Journal of Strength and Conditioning Research*, Vol. 23, No. 1, pp. 284–292, DOI 10.1519/JSC.0b013e31818546bb.
5. Digginn D., O'Regan C., Whelan N. [et al.] (2011), “A biomechanical analysis of front and back squat: injury implications”, *Portuguese Journal of Sports Sciences*, Vol. 11, No. 2, pp. 643–646.
6. Rippetoe M. (2007), “Popular Biomechanics”, *CrossFit Journal*, Issue 55, March, pp. 1–5.
7. Samsonov G. A., Samsonova A. V., Bannikov A. D. (2016). “Computer program for calculating the mechanical characteristics of the athlete-barbell system when performing strength exercises”, *Proceedings of the Department of Biomechanics of the P.F. Lesgaft University*, Issue 10, pp. 28–31.

Информация об авторах:

Самсонова А.В., заведующая кафедрой биомеханики, ORCID: 0000-0003-3599-8280, SPIN-код 7384-2602.

Захаров Ф.Е., доцент кафедры биомеханики, ORCID: 0000-0002-2153-7662, SPIN-код 1532-5160.

Сагидуллин А.А., преподаватель кафедры биомеханики, ORCID: 0009-0004-1414-335X, SPIN-код 2937-2887.

Самсонов М. А. доцент кафедры биомеханики, ORCID: 0000-0003-2669-6520, SPIN-код 8979-6511. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Поступила в редакцию 06.10.2025.

Принята к публикации 14.11.2025.