

ТРУДЫ МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

ВЕРИФИКАЦИЯ МЕТОДИКИ ИЗМЕРЕНИЯ X-ФАКТОРА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ БРОСКОВ С ПОВОРОТОМ В САМБО

А.Г. ЛАПАЕВА, С.Е. ТАБАКОВ,
А.В. ЕРМАКОВ,
РУС «ГЦОЛИФК», г. Москва

Аннотация

Оценка угловых характеристик движения в спорте происходит с использованием различных инструментов: оптико-электронных систем измерения, методов искусственного интеллекта, анализа цифровых видео. Авторы в своих исследованиях, посвященных биомеханическому анализу, использовали различные методы для описания X-фактора. Однако существует ряд ограничений при оценке техники в самбо. Следовательно, вопрос о наиболее подходящем методе определения X-фактора в самбо при выполнении бросков остается открытым. Данное исследование посвящено разработке и верификации методики определения X-фактора при выполнении бросков с поворотом в самбо.

Ключевые слова: X-фактор, самбо, броски с поворотом, биомеханический анализ, компьютерное зрение, искусственный интеллект.

VERIFICATION OF THE METHOD OF MEASURING THE X-FACTOR WHEN PERFORMING THROWS WITH A TURN IN SAMBO

A.G. LAPAEVA, S.E. TABAKOV, A.V. ERMAKOV,
RUS "GTSOLIFK", Moscow city

Abstract

The assessment of the angular characteristics of movement in sports is carried out using various tools: optoelectronic measurement systems, artificial intelligence methods, and digital video analysis. The authors in their studies on biomechanical analysis used various methods to describe the X-factor. However, there are a number of limitations when evaluating technique in sambo. Therefore, the question of the most appropriate method for determining the X-factor in sambo when performing throws remains open. This study is devoted to the development and verification of the methodology for determining the X-factor when performing throws with a turn in sambo.

Keywords: X-factor, sambo, turn throws, biomechanical analysis, computer vision, artificial intelligence.

Введение

X-фактор является наиболее распространенным явлением, описанным в научной литературе при анализе движений спортсмена в гольфе. Впервые понятие было введено McLean [13], описывало диссоциацию между осями таза и плеч во время перехода между фазами замаха и опускания. «X-фактор» – это угол в поперечной плоскости между линией оси таза, проведенной через передне-верхнюю ость подвздошной кости, на правом и левом отростках и линией плечевого пояса, проведенной через акромиальные отростки [14, 15]. Считается, что увеличение X-фактора приводит к увеличению осевой

ротации туловища и плечевого пояса и таким образом – накоплению упругой потенциальной энергии мышц туловища [6, 8]. С другой стороны, данный фактор, вероятно, способен усугубить уже имеющиеся дегенеративные повреждения нижней части спины [2]. В самбо броски с поворотом также имеют схожую механику движений и могут нести в себе потенциальную опасность повреждений поясничного и грудного отделов позвоночника [2]. Авторы в своих исследованиях, посвященных биомеханическому анализу, использовали различные методы для описания X-фактора. Было выделено несколько аспектов



для понимания производительности и возникновения травм. Результаты ранее опубликованных исследований показывают, что существуют значительные различия в методах оценки взаимодействия таза и грудной клетки при ротационных движениях [6, 7, 9]. По-видимому, отсутствует консенсус в отношении методологий расчета X-фактора [6, 10], а именно: параметр диссоциации таз/плечевой пояс или определение кинематической последовательности (последовательность сегментарных угловых скоростей) [12]. Оценка угловых характеристик движения происходит с использованием различных инструментов: опτικο-электронных систем измерения, методов искусственного интеллекта, анализа цифровых видео [6]. Технология Qualisys Tracking Manager считается «золотым стандартом» анализа движения [6, 11]. Однако существует ряд ограничений при оценке техники самбо, в связи с чем авторы вынуждены прибегать к использованию манекена вместо партнера [3, 5]. Следовательно, вопрос о наиболее подходящем методе определения X-фактора в самбо при выполнении бросков остается открытым.

Цель исследования – верифицировать методику измерения X-фактора при выполнении бросков с поворотом в самбо.

Материал и методы исследования

Во время исследования были использованы следующие методы: систематический поиск научно-методической литературы; видеоанализ; биомеханический анализ; математическая статистика.

Исследование проходило на кафедре теории и методики единоборств Российского университета спорта «ГЦОЛИФК». В качестве испытуемого выступил студент 3 курса специализации самбо (квалификация – 1 спортивный разряд, масса тела – 58 кг). Видеосъемка осуществлялась с помощью высокоскоростной камеры Nuawei.

Методика определения X-фактора состояла в следующем:

- ♦ Выбор оптимальных вариантов бросков для следующего видеоанализа.
- ♦ Непосредственно видеозапись бросков.
- ♦ Проведение пост-анализа записанного видеоряда двумя методами: анализ видео с использованием специального программного обеспечения MediaPipe (3D метод), а также авторский метод плоского (2D) анализа отдельных кадров из видео с использованием программы Adobe Photoshop.
- ♦ Статистическое сравнение двух методов анализа.

Испытуемый выполнял 9 вариантов бросков с поворотом (табл. 1), по 3 попытки на каждый вариант (итого 27 попыток). После чего для более детального анализа и обработки результатов из всех попыток были отобраны 9, по одной на каждый вариант броска. Указанная выборка определялась по следующим критериям:

1. Ось туловища испытуемого должна быть максимально приближена к оси камеры и располагаться в процессе броска параллельно продольной оси камеры.

2. Контрольные точки туловища испытуемого обозначались цветным тейпом симметрично на акромиальных отростках и подвздошных костях испытуемого, были максимально открыты для съемки.

Проведение видеозаписи осуществлялось с выполнением следующих условий:

- параметры съемки: Video HVC1 1920×1080, 60 кадр/с;
- камера должна быть установлена на высоте 1,2 м для дальнейшей фиксации прямой проекции тела как наиболее подходящей для последующего двумерного анализа;
- поперечная ось камеры располагалась параллельно оси горизонта.

3. Проведение пост-анализа полученных данных.

Как и было указано выше, обработка данных для получения количественных угловых показателей осуществлялась двумя методами. На первом этапе был использован фреймворк MediaPipe (рис. 1), который обеспечивает кроссплатформенные настраиваемые решения машинного обучения и распознавания видео как для уже подготовленных мультимедиа файлов, так и для работы с потоковыми видео в реальном времени.

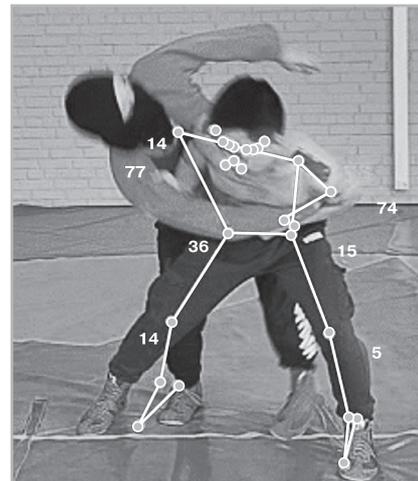


Рис. 1. Оценка изменения X-фактора с помощью 3D анализа броска – передняя подножка с захватом рукава и одноименного отворота

Специальное программное обеспечение MediaPipe позволяет обрабатывать с помощью встроенных возможностей искусственного интеллекта положение до 33 точек на теле человека в трехмерном пространстве, а также давать оценку их взаимного положения. Подробное описание построения алгоритмов для определения биомеханических характеристик движения было дано ранее [1]. Результаты исследования Lafayette с соавт. [11] продемонстрировали возможность применения MediaPipe для оценки измерения углового отклонения для биомеханической оценки по сравнению с «золотым стандартом».

На втором этапе использовался графический редактор Adobe Photoshop CS6 для двухмерного анализа. На выделенном ранее видеокadre с помощью инструмента «линейка», выполняющего функции транспортера (угломера). Для этого были проведены линии через заранее



выявленные контрольные точки на туловище спортсмена. X -фактор был определен как угол между этими осями в плоскости XU (рис. 2).



Рис. 2. Оценка изменения X -фактора с помощью 2D анализа броска – передняя подножка с захватом рукава и одноименного отворота

4. Статистическое сравнение указанных методов.

Статистический анализ проводился в программе IBM SPSS Statistics Base 26.0 с помощью метода Бланда-Альмана, который заключается в сопоставлении измерений количественных показателей двумя разными методами.

Результаты исследования и их обсуждение

В нашей работе для биомеханического анализа были отобраны 9 вариантов бросков с поворотом с различными захватами (табл.). Далее описан подробный анализ на примере броска «передняя подножка с захватом рукава и одноименного отворота».

При анализе биомеханической структуры бросков мы основывались на работах Г.С. Туманяна [4]. Согласно его работам наиболее удобно разделять бросок на три фазы. Эти фазы отмечены (рис. 3) по результатам динамики изменения X -фактора, выполненного с помощью программного обеспечения MediaPipe. Для повышения точности определения показателей X -фактора в пост-обработке видео было замедлено в 3 раза.

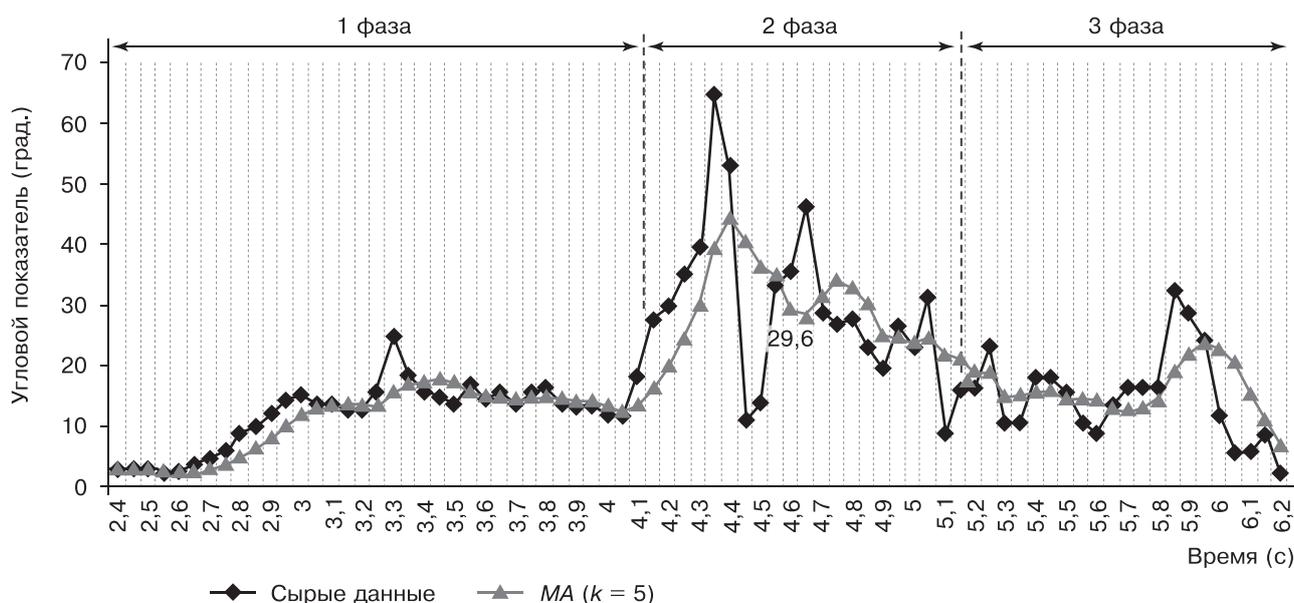


Рис. 3. Оценка изменения X -фактора во всех фазах выполнения передней подножки с захватом рукава и одноименного отворота

Первая фаза броска – вход атакующего из исходного положения в стартовое ($t = 1,6$ с). Вторая фаза – выведение партнера из равновесия ($t = 1,2$ с). Именно в этой фазе находилось искомое значение X -фактора, которое соответствовало 4,67 с (ось X – время) и 29,6° (ось Y – угловые показатели). Третья фаза – полет и приземление ($t = 1$ с).

Для оценки изменения X -фактора во всех фазах выполнения броска была построена диаграмма. На ней представлены первичные данные, которые были отобраны с помощью фильтра скользящего среднего (МА) с интервалом 5. При сопоставлении данных видеосъемки

и диаграммы нами были определены временные отрезки, соответствующие фазам броска. Далее пик X -фактора был определен визуально как наибольшее значение во второй фазе: по оси Y – 36°, а по оси X – 4,25 с.

На графике можно выделить описанные выше три фазы броска. Характер изменения кривой, а также соответствие стоп-кадров ключевым точкам на графике подтверждают достоверность полученных данных. Аналогичным образом были определены показатели X -фактора для всех 9 вариантов бросков с поворотом. Результаты представлены в таблице.



**Определение X-фактора двумя методами
при выполнении вариантов бросков с поворотом в самбо**

Вариант броска	X-фактор в MediaPipe (3D)(град.) $MA \pm SD$	X-фактор в Photoshop (2D) (град.)
Передняя подножка с захватом рукава и пояса	19,5 ± 5,02	20
Передняя подножка с захватом рукава и куртки на спине из-под руки	15,3 ± 3,81	17
Передняя подножка с захватом рукава и ворота	29,5 ± 9,06	28
Передняя подножка с захватом рукава и разноименного отворота на груди	19,97 ± 9,78	20
Передняя подножка с захватом рукава и одноименного отворота	29,6 ± 17,25	29
Через бедро с захватом рукава и пояса	32,3 ± 6,92	34
Через бедро с захватом рукава и шеи	37,6 ± 9,44	36
Через спину захватом руки на плечо	16,5 ± 2,33	18
Через спину захватом рукава и одноименного отворота	16,2 ± 6,87	13

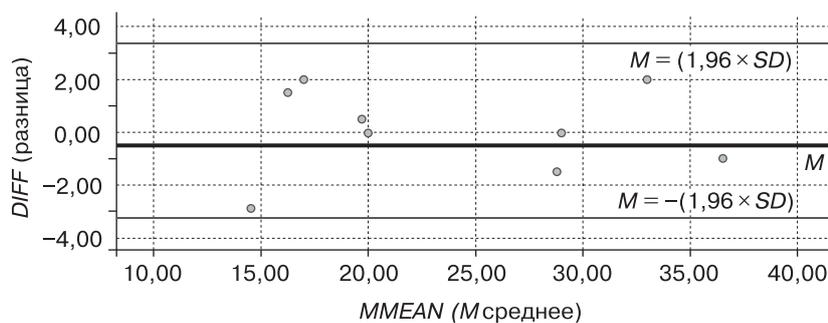


Рис. 4. Диаграмма Бланда-Альтмана,
характеризующая зависимость разности измерений двух методов
от величины показателя X-фактора

Проведенный анализ показал, что при сопоставлении оценок показателей X-фактора, полученных разными методами, разность измерений существенно не зависела от величины показателя ($r_{xy} = -0,007$, $p = 0,985$). А значение средней разности между измерениями составило

всего 0,056 (стандартное отклонение разности: $\pm 1,685$), что свидетельствует об отсутствии систематического расхождения данных и хорошей сопоставимости результатов исследуемых методов биомеханического анализа движения (рис. 4).

Заключение

Отсутствие оптимальных методов биомеханического анализа движения, в частности определения угловых характеристик при выполнении бросков в самбо, вынуждает авторов исследования прибегнуть к поиску альтернативы и разработке наиболее информативных методик

определения искомых показателей. Результаты статистического анализа дают основание считать, что указанные выше методы могут быть использованы для оценки X-фактора, а непосредственно методика его измерения является верифицированной.



Литература

1. Ермаков, А.В. Анализ движения в единоборствах с помощью библиотек «компьютерного зрения» OpenCV и фреймворка искусственного интеллекта MediaPipe // Боевые искусства и спортивные единоборства: наука, практика, воспитание. – 2021. – С. 106–111.
2. Лапаева, А.Г., Табаков, С.Е., Табаков, Р.С. Влияние ротационных движений позвоночника (X-фактора) на боль и связанные с ней травмы спины у атлетов в различных видах спорта: систематический обзор // Спортивно-педагогическое образование. – 2022. – № 4. – С. 103–115. – DOI: 10.52563/2618-7604_2022_4_103
3. Свиридов, Б.А., Попов, Г.И., Тарханов, И.В. Биомеханический анализ структуры бросков через туловище у квалифицированных борцов-самбистов // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2019. – № 5 (171). – С. 277–281.
4. Туманян, Г.С. Спортивная борьба: теория, методика, организация тренировки: учебное пособие. – Кн. II. Кинезиология и психология. – М.: Советский спорт, 1998. – 280 с.
5. Шипилов А.А. Сравнительный анализ кинематических характеристик движения манекена при выполнении бросков подворотом и прогибом // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. – 2017. – № 10 (152). – С. 301–305.
6. Bourgain, M., Rouch, P., Rouillon, O., Thoreux, P., Sauret, C. Golf Swing Biomechanics: A Systematic Review and Methodological Recommendations for Kinematics // Sports (Basel). – 2022. – No. 10 (6). – P. 91. – DOI: 10.3390/sports10060091
7. Brown, S.J., Selbie, W.S., Wallace, E.S. The X-Factor: an evaluation of common methods used to analyse major inter-segment kinematics during the golf swing // J. Sports Sci. – 2013. – No. 31 (11). – Pp. 1156–1163. – DOI: 10.1080/02640414.2013.775474
8. Cole, M.H., Grimshaw, P.N. The Biomechanics of the Modern Golf Swing: Implications for Lower Back Injuries // Sports Med. – 2016. – No. 46 (3). – Pp. 339–351. – DOI: 10.1007/s40279-015-0429-1
9. Joyce, C., Burnett, A., Ball, K. Methodological considerations for the 3D measurement of the X-factor and lower trunk movement in golf // Sports Biomech. – 2010. – No. 9 (3). – Pp. 206–221. – DOI: 10.1080/14763141.2010.516446
10. Kwon, Y.H., Han, K.H., Como, C., Lee, S., Singhal, K. Validity of the X-factor computation methods and relationship between the X-factor parameters and clubhead velocity in skilled golfers // Sports Biomech. – 2013. – No. 12. – Pp. 231–246. – DOI: 10.1080/14763141.2013.771896
11. Lafayette, T.B.G., Kunst, V.H.L., Melo, P.V.S., et al. Validation of Angle Estimation Based on Body Tracking Data from RGB-D and RGB Cameras for Biomechanical Assessment // Sensors (Basel). – 2022. – No. 23 (1). – P. 3. – DOI: 10.3390/s23010003
12. Marsan, T., Thoreux, P., Bourgain, M., Rouillon, O., Rouch, P., Sauret, C. Biomechanical analysis of the golf swing: Methodological effect of angular velocity component on the identification of the kinematic sequence // Acta Bioeng. Biomech. – 2019. – No. 21. – Pp. 115–120. – DOI: 10.5277/ABB-01318-2019-02
13. McLean, J. Widen the gap // Golf Mag. – 1992. – No. 34. – Pp. 49–53.
14. Robinson, P.G., Murray, I.R., Duckworth, A.D., Hawkes, R., Glover, D., Tilley, N.R., Hillman, R., Oliver, C.W., Murray, A.D. Systematic review of musculoskeletal injuries in professional golfers // Br. J. Sports Med. – 2019. – No. 53 (1). – Pp. 13–18. – DOI: 10.1136/bjsports-2018-099572
15. Smith, J.A., Hawkins, A., Grant-Beuttler, M., Beuttler, R., Lee, S.P. Risk Factors Associated with Low Back Pain in Golfers: A Systematic Review and Meta-analysis // Sports health. – 2018. – No. 10 (6). – Pp. 538–546. – DOI: org/10.1177/1941738118795425

References

1. Ermakov, A.V. (2021), Movement analysis in martial arts using OpenCV “computer vision” libraries and MediaPipe artificial intelligence framework, *Martial arts and combat sports: science, practice, education*, pp. 106–111.
2. Lapaeva, A.G., Tabakov, S.Ye. and Tabakov, R.S. (2022), Influence of rotational movements of the spine (X-factor) on pain and associated back injuries in athletes in various sports: a systematic review, *Sports and Pedagogical Education*, no. 4, pp. 103–115.
3. Sviridov, B.A., Popov, G.I. and Tarkhanov, I.V. (2019), Biomechanical analysis of the structure of throws through the body in qualified sambo wrestlers, *Uchyonye zapiski universiteta im. P.F. Lesgaft*, no. 5 (171), pp. 277–281.
4. Tumanyan, G.S. (1998), *Sports wrestling: theory, methodology, organization of training. Kinesiology and psychology*, Moscow: Soviet Sport, 280 p.
5. Shipilov, A.A. (2017), Comparative analysis of the kinematic characteristics of the movement of a dummy when performing throws with a turn and deflection, *Uchyonye zapiski universiteta im. P.F. Lesgaft*, no. 10 (152), pp. 301–305.
6. Bourgain, M., Rouch, P., Rouillon, O., Thoreux, P. and Sauret, C. (2022), Golf Swing Biomechanics: A Systematic Review and Methodological Recommendations for Kinematics, *Sports*, no. 10 (6), p. 91, DOI: org/10.3390/sports10060091
7. Brown, S.J., Selbie, W.S. and Wallace, E.S. (2013), The X-Factor: an evaluation of common methods used to analyse major inter-segment kinematics during the golf swing, *J. Sports Sci*, no. 31 (11), pp. 1156–1163, DOI: 10.1080/02640414.2013.775474
8. Cole, M.H. and Grimshaw, P.N. (2016), The Biomechanics of the Modern Golf Swing: Implications for Lower Back Injuries, *Sports Med.*, no. 46 (3), pp. 339–351, DOI: 10.1007/s40279-015-0429-1
9. Joyce, C., Burnett, A. and Ball, K. (2010), Methodological considerations for the 3D measurement of the X-factor and lower trunk movement in golf, *Sports Biomech.*, no. 9 (3), pp. 206–221, DOI: 10.1080/14763141.2010.516446



10. Kwon, Y.H., Han, K.H., Como, C., Lee, S. and Singhal, K. (2013), Validity of the X-factor computation methods and relationship between the X-factor parameters and clubhead velocity in skilled golfers, *Sports Biomech.*, no. 12, pp. 231–246, DOI: 10.1080/14763141.2013.771896

11. Lafayette, T.B.G., Kunst, V.H.L., Melo, P.V.S., et al. (2022), Validation of Angle Estimation Based on Body Tracking Data from RGB-D and RGB Cameras for Biomechanical Assessment, *Sensors*, no. 23 (1), p. 3, DOI: 10.3390/s23010003

12. Marsan, T., Thoreux, P., Bourgain, M., Rouillon, O., Rouch, P. and Sauret, C. (2019), Biomechanical analysis of the golf swing: Methodological effect of angular velocity component on the identification of the kinematic sequence,

Acta Bioeng. Biomech., no. 21, pp. 115–120, DOI: 10.5277/ABB-01318-2019-02

13. McLean, J. (1992), Widen the gap, *Golf Mag*, no. 34, pp. 49–53.

14. Robinson, P.G., Murray, I.R., Duckworth, A.D., Hawkes, R., Glover, D., Tilley, N.R., Hillman, R., Oliver, C.W. and Murray, A.D. (2019), Systematic review of musculoskeletal injuries in professional golfers, *Br. J. Sports Med.*, no. 53 (1), pp. 13–18, DOI: 10.1136/bjsports-2018-099572

15. Smith, J.A., Hawkins, A., Grant-Beuttler, M., Beuttler, R. and Lee, S.P. (2018), Risk Factors Associated With Low Back Pain in Golfers: A Systematic Review and Meta-analysis, *Sports health*, no. 10 (6), pp. 538–546, DOI: org/10.1177/1941738118795425

