

УДК 796.355:612.76

**ВЛИЯНИЕ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ
НА ПОСАДКУ ХОККЕИСТА**© К. К. БОНДАРЕНКО^{1,2}, Г. В. НОВИК¹, А. Е. БОНДАРЕНКО²¹УО «Гомельский государственный медицинский университет», г. Гомель, Республика Беларусь²УО «Гомельский государственный университет имени Ф. Скорины», г. Гомель, Республика Беларусь**РЕЗЮМЕ**

Цель исследования: оценить влияние сгибания и разгибания звеньев тела при перемещении в посадке хоккеиста на положение суставов относительно общего центра масс тела.

Материал и методы. В исследовании приняла участие группа из 14 высококвалифицированных хоккеистов, выполнявших перемещение в беге на коньках и проприоцептивное перемещение на тензоплатформу в посадку хоккеиста. Проведен биомеханический анализ движений методами видеоанализа, тензодинамометрии и миографии.

Результаты. Выявлены наиболее оптимальные диапазоны суставных углов коленного и тазобедренного суставов в посадке хоккеиста. В частности, при фиксации углового положения коленного сустава в диапазоне 80–90 градусов отмечено снижение величины силы мышечной тяги четырёхглавой мышцы бедра на переднюю крестообразную связку. Величина данного снижения варьировала в диапазоне 17–22 % от средних величин показателя, полученных при угловом положении коленного сустава менее 80 или более 90 градусов. Сгибание в тазобедренном суставе в диапазоне 42–55 градусов при оптимальном положении коленного сустава способствовало увеличению равновесия в заданной позе.

Заключение. Сгибание и разгибание туловища приводят к изменению положения суставов, связанных с общим центром масс тела (ОЦМт) и последующей биомеханикой посадки. Отклонение угловых положений от оптимальных диапазонов влияет на траекторию перемещения ОЦМт с вертикальными колебаниями, что, в свою очередь, негативно сказывается на скорости перемещения и устойчивости посадки хоккеиста. Выход за границы зоны постурального положения может приводить к более жесткой посадочной позе, что увеличивает риск травмирования передней крестообразной связки.

Ключевые слова: посадка хоккеиста, биомеханика движения, проприоцепция положения.

Вклад авторов: Бондаренко К.К., Новик Г.В., Бондаренко А.Е.: организация исследования, сбор материала и видеоанализ движения, получение экспериментальных данных, статистическая обработка данных, редактирование, обсуждение данных, обзор публикаций по теме статьи, проверка критически важного содержания, утверждение рукописи для публикации.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источники финансирования: исследование проведено без спонсорской поддержки.

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ:

Бондаренко К.К., Новик Г.В., Бондаренко А.Е. Влияние биомеханических параметров движения на посадку хоккеиста. *Проблемы Здоровья и Экологии*. 2020;65(3):90–94

**INFLUENCE OF THE BIOMECHANICAL PARAMETERS OF MOVEMENT
ON THE ICE-HOCKEY PLAYER'S SITTING POSITION**© KONSTANTIN K. BONDARENKO^{1,2}, GALINA V. NOVIK¹, ALLA E. BONDARENKO²¹Gomel State Medical University, Gomel, Republic of Belarus²Francisk Skorina Gomel State University, Gomel, Republic of Belarus**ABSTRACT**

Objective: to evaluate the effect of flexion and extension of the body units during ice-hockey players' movements in the sitting position on the location of the joints in relation to the general center of body mass.

Material and methods. A group of 14 highly qualified ice-hockey players who performed running movements on skates and proprioceptive movements onto the strain platform in the ice-hockey player's sitting position. The biomechanical analysis of the movements was conducted with the use of the methods of video analysis, strain gauge, and myometrical method.

Results. The most optimal ranges of the articular angles of the knee and hip joints in the ice-hockey player's sitting position have been identified. In particular, in the fixation of the angular position of the knee joint within the range of 80–90 degrees, there was a decrease in the strength of the muscle pull of the quadriceps femoris on the anterior cruciate ligament. The value of this decrease varied within the range of 17–22 % of the average values of the indicator that were obtained when the angular position of the knee joint was less than 80 or more than 90 degrees. Flexion in the hip joint over the range of 42–55 degrees with the optimal position of the knee joint contributed to increased balance in the given position.

Conclusion. Flexion and extension of the torso lead to changes in the position of the joints associated with the general center of body mass (GCMB) and subsequent biomechanics of the sitting position. The deviation of the angular positions from the optimal ranges affects the trajectory of the GCMB with vertical vibrations, which, in its turn, negatively affects the speed of movement and stability of the ice-hockey player's sitting position. Going beyond the boundaries of the postural position zone can lead to a more rigid sitting position, which increases the risk of injury of the anterior cruciate ligament.

Key words: ice-hockey player's sitting position, biomechanics of movements, proprioception of position.

Author contributions: Bondarenko KK, Novik GV, Bondarenko AYe: organization of research, collection of material and video analysis of motion, obtaining experimental data, statistical processing of data, editing, discussion of data, review of publications on the topic of the article, verification critical content, manuscript approval for publication.

Conflict of Interest: Authors declare no conflict of interest.

Funding: study conducted without sponsorship.

FOR CITATION:

Bondarenko KK, Novik GV, Bondarenko AYe. Influence of the biomechanical parameters of movement on the ice-hockey player's sitting position. *Problems of Health and Ecology = Problemy Zdorov'ya i Ekologii* 2020;65(3):90–94. (In Russ.)

Введение

Характер движений в спортивной деятельности определяется траекториями перемещения звеньев тела и силами, создаваемыми при взаимодействии этих сил. Изменение кинематических параметров движения влечет создание излишних напряжений в скелетных мышцах и суставах спортсмена, что повышает вероятность получения травмы [1].

Повреждение передней крестообразной связки в спортивной деятельности имеет достаточно широкое распространение, что может иметь негативные последствия для спортивного долголетия [2, 3]. Взаимосвязь влияния звеньев тела при удержании позных положений оказывают влияние на создание усилий на суставно-связочный аппарат спортсмена, задействованный при выполнении стойки или посадки. Различные условия посадки, связанные с углами сгибания колена и движения туловища, являются значительными факторами риска для получения травмы [4, 5]. Жесткая посадка, характеризующаяся уменьшенным сгибанием колена и бедра и увеличенной вертикальной силой реакции опоры, связана с повышенной нагрузкой на переднюю крестообразную связку [6]. Взаимосвязь перемещений звеньев тела относительно друг друга и общего центра масс тела (ОЦМт) влияет на биомеханику посадки [7], однако ее эффективность связана со спецификой выполняемого движения и коэффициентом жесткости опоры. При оценке движения хоккеиста не до конца решены вопросы оптимальности диапазонов углов суставных положений [8, 9]. Решение этих вопросов предопределяет возможность снижения травмирования сустава за счет уменьшения суставно-мышечного напряжения [10].

Цель исследования

Оценить влияние сгибания и разгибания звеньев тела при перемещении в посад-

ке хоккеиста на положение суставов относительно ОЦМт и биомеханики положения.

Материалы и методы

На основании полученных ранее экспериментальных данных была выдвинута гипотеза, что удлинение позы спортсмена при двигательном перемещении может вызвать движение бедер и коленей вперед, относительно всего ОЦМт, что создаст биомеханически невыгодное положение посадки. Это вызвало бы более жесткую посадку и уменьшение сгибания колена и бедра с созданием дополнительного напряжения на суставно-связочный аппарат хоккеиста.

Исследование проводилось на базе хоккейного клуба «Пинские ястребы» во время предсезонной подготовки сезона 2019–2020 гг. В нем приняли участие 14 спортсменов в возрасте 21–28 лет со стажем спортивной деятельности не менее 12 лет.

На сегментах тела в области большого бугра головки плечевой кости, большого вертела бедренной кости, наружного надмыщелка бедренной кости и наружной лодыжки большеберцовой кости были прикреплены светоотражающие маркеры. Видеоанализ осуществлялся при помощи двух синхронизированных видеокамер, установленных на пятном и пятнадцатом метре ледовой площадки (при оценке проприоцептивных положений скольжения на коньках) и видеокамеры и тензоплатформы при оценке перемещения в посадку хоккеиста. Видеосъемка осуществлялась в сагиттальной плоскости.

Перемещение в выпад с ноги на ногу выполнялось на тензометрическую платформу с фиксацией положения и с тензометрической платформы для определения мощности отталкивания. В момент постановки ноги на тензоплатформу фиксировали показатели величины силы реакции опоры, изменение положения центра давления на опоре, величину импульса силы реакции опоры и ее мощности. С помощью видеосъемки исследовалась скорость и траектория перемещения общего центра массы тела исследуемого.

Биомеханическая оценка функционального состояния скелетных мышц при выполнении пиковых нагрузок осуществлялась методом миографии [11].

Результаты и обсуждение

Положение тазобедренного, коленного и голеностопного суставов относительно ОЦМт определялось в момент контакта с тензоплатформой. Биомеханическая оценка движения при перемещении в посадку с фиксацией позы позволила определить проприоцептивные характеристики полого положения. В частности, были определены угловые параметры движения тазобедренного и коленного суставов и динамические параметры воздействия на скелетные мышцы и суставно-связочный аппарат спортсмена. В мо-

мент постановки ноги на опору наибольшее воздействие испытывает передняя крестообразная связка из-за создания большого пикового момента сгибания в коленном суставе. За счет инерции перемещения на опору и действия сил реакции опоры скелетным мышцам необходимо увеличивать поглощение энергии, что ведет к снижению энергообеспечения пассивных элементов коленного сустава.

При фиксации углового положения коленного сустава в диапазоне 80–90 градусов миограмма показала снижение величины силы мышечной тяги четырехглавой мышцы бедра на переднюю крестообразную связку. Величина данного снижения варьировала в диапазоне 17–22 % от средних величин показателя, полученных при угловом положении коленного сустава менее 80 или более 90 градусов (рисунок 1).

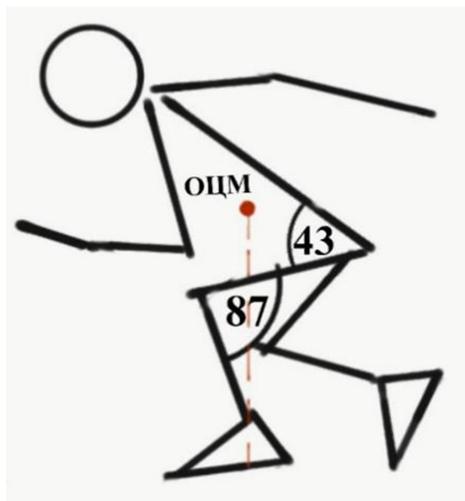


Рисунок 1 — Угловые положения коленного и тазобедренного суставов

Траектория перемещения голени опорной ноги вперед относительно бедра позволила рассчитать усилие, создаваемое в суставе скелетной мышцей. Выявлено увеличение силы мышечной тяги четырехглавой мышцы до 40 % относительно общего показателя мышц всего бедра. В ранее проведенных исследованиях с «хоккеистами», играющими на паркете (флорбол), получены данные, свидетельствующие, что нарушение траектории движения коленного сустава в 26,3 % случаев приводит к травмированию крестообразной связки [12].

Сгибания в тазобедренном суставе в диапазоне 42–55 градусов при оптимальном положении коленного сустава способствовали увеличению равновесия в заданной позе (рисунок 1). Чрезмерное сгибание или разгибание туловища в тазобедренных суставах (выход за границы диапазона) заставляло

компенсировать выход ОЦМт за границы устойчивости и изменять угол в коленном суставе опорной ноги, что приводило к повышению силы тяги четырехглавой мышцы бедра на переднюю крестообразную связку. При разгибании туловища в тазобедренных суставах и перемещении ОЦМт назад для предотвращения падения сгибание колена может не выполняться. При уменьшении угла сгибания туловища и бедра ОЦМт смещается вперед, вызывая активное сгибание колена для сохранения постральной устойчивости.

Беговые движения на коньках позволили сравнить скользящее движение с параметрами проприоцепции позы, полученной в результате перемещения на тензоплатформу. У части спортсменов параметры угловых положений выходили за границы оптимальных диапазонов и приводили к вертикальным колебаниям ОЦМт (рисунок 2).

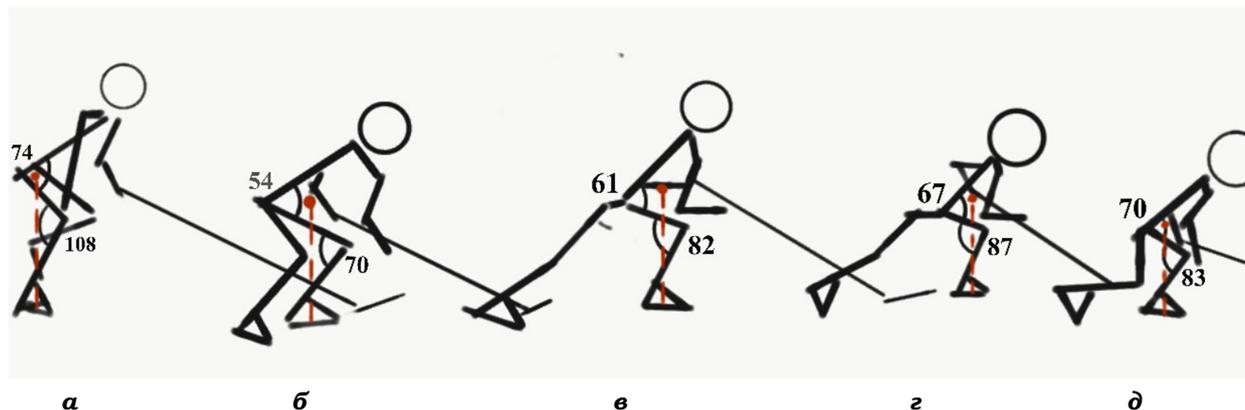


Рисунок 2 — Кинограмма бегового шага хоккеиста

Наиболее эффективное положение сгибания коленного сустава отмечается на рисунках 2в-2д. В позиции 2а угол в коленном суставе значительно превышает оптимальный диапазон, что приводит к разгибанию тазобедренного сустава и повышению ОЦМт для удержания равновесия. Вертикальные колебания приводят к снижению скорости бега хоккеиста. Для увеличения скорости спортсмену приходится при последующем шаге чрезмерно сгибать ногу в коленном суставе, что приводит к дополнительной нагрузке на переднюю крестообразную связку (рисунок 2б). Следует отметить, что угол сгибания туловища в тазобедренном суставе на данном рисунке находится в диапазоне «комфорта». Вместе с тем чрезмерное сгибание коленного сустава увеличивает силу мышечной тяги длинной головки четырехглавой мышцы бедра и создает излишнее напряжение на переднюю крестообразную связку.

Заключение

Оценка изменения ОЦМт под воздействием угловых положений коленного и тазобедренного суставов способствует определению устойчивости позы хоккеиста, характеризующееся его посадкой. Выход за границы зоны пострального положения может приводить к более жесткой посадочной позе, что увеличивает риск травмирования передней крестообразной связки.

Сгибание и разгибание туловища приводят к изменению положения суставов, связанных с ОЦМт, и последующей биомеханикой посадки. Отклонение угловых положений от оптимальных диапазонов влияет на траекторию перемещения ОЦМт с вертикальными колебаниями, что, в свою очередь, негативно сказывается на скорости перемещения и устойчивости посадки хоккеиста.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бондаренко КК, Бондаренко АЕ, Боровая ВА. Взаимосвязь кинематических параметров движения с риском травматизма в метании копья. *Физическое Воспитание и Спортивная Тренировка*. 2019;4:13-21.
2. Marc Smith, Gillian Weir, Cyril J. Donnelly, Jacqueline Alderson. Do field hockey players require a sport-specific biomechanical assessment to classin their anterior cruciate ligament injury risk? *International conference on Biomechanics in sport*; 2016, 18-22 Juli. Tsukubo, Japan:335-38.
3. Donnelly CJ, Lloyd DG, Elliott BC, Reinbolt JA. Optimizing whole-body kinematics to minimize valgus knee loading during sidestepping: implications for ACL injury risk. *J Biomech*. 2012;45(149):1-7.
4. Бондаренко КК. Кинематические параметры положения коленного сустава при скольжении на лезвии конька. В сб. научных трудов Всероссийской научно-практической конференции: Современные технологии физического воспитания и спорта в практике деятельности физкультурно-спортивных организаций; 2019, 26 апреля. Елец, РФ; 2019:231-34.
5. Dempsey AR, Lloyd DG, Elliott BC, Steele JR, Munro BJ. Changing sidestep cutting technique reduces knee valgus loading. *Am J Sports Med*. 2009;37:194-200. doi: 10.1177/0363546509334373
6. Бондаренко КК, Бондаренко АЕ. Рациональность передвижений хоккеистов в зависимости от проприоцепции коленных суставов. Материалы. IX Всероссийской научно-практической конференции: Инновационные технологии в спорте и физическом воспитании подрастающего поколения; 2019, 19 апреля. Москва, РФ, 2019:501-04.
7. Dempsey AR, Elliott BC, Munro BJ, Steele JR, Lloyd DG. Whole body kinematics knee moments that occur during an overhead catch and landing task in sport. *Clin Biomech*. 2012;27:66-74.
8. Бондаренко КК, Бобарико РИ. Определение проприоцептивности суставных положений нижних конечностей хоккеистов. Материалы. V региональной научно-конференции молодых ученых: Современные проблемы физической культуры, спорта и молодежи; 2019, 28 февраля. Чуралча, 2019:65-68.
9. Pollard CD, Sigward SM, Powers CM. Gender differences in hip joint kinematics and kinetics during

- side-step cutting maneuver. *J Sports Med.* 2007;17:38-42.
10. Lynn S, Noffal GJ. Frontal plane moments in golf: Effect of target side foot position at address. *J Sci Med Sport.* 2010;9:275-81.
 11. Бондаренко КК, Бондаренко АЕ, Кобец ЕА. Изменение функционального состояния скелетных мышц под воздействием напряжённой нагрузочной деятельности. *Наука и Оsvita.* 2010;6:35-40.
 12. Бондаренко КК, Бондаренко АЕ. Факторы риска травматизма передней крестообразной связки при передвижении флорболистов. Актуальные проблемы медицины: сборник научных статей Респ. науч.-пр. конф. с межд. участием; 2019, 21-22 ноября. Гомель, РБ, 2019;4:15-8.

REFERENCES

1. Bondarenko KK, Bondarenko AYe, Borovaya VA. Vzaimosvyaz' kinematischeskikh parametrov dvizheniya s riskom travmatizma v metanii kop'ya. *Fizicheskoye Vospitaniye i Sportivnaya Trenirovka.* 2019;4:13-21. (in Russ.)
2. Marc Smith, Gillian Weir, Cyril J. Donnelly, Jacqueline Alderson. Do field hockey players require a sport-specific biomechanical assessment to classin their anterior cruciate ligament injury risk? International conference on Biomechanics in sport; 2016, 18-22 Juli. Tsukubo, Japan:335-38.
3. Donnelly CJ, Lloyd DG, Elliott BC, Reinbolt JA. Optimizing whole-body kinematics to minimize valgus knee loading during sidestepping: implications for ACL injury risk. *J Biomech.* 2012;45(149):1-7.
4. Bondarenko KK. Kinematischeskie parametry polozheniya kolennogo sustava pri skol'zhenii na lezvi kon'ka. V sb. nauchnyh trudov Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii: Sovremennye tekhnologii fizicheskogo vospitaniya i sporta v praktike deyatel'nosti fizkul'turno-sportivnyh organizacij; 2019, 26 aprelya. Elec, RF; 2019:231-34. (in Russ.)
5. Dempsey AR, Lloyd DG, Elliott BC, Steele JR, Munro BJ. Changing sidestep cutting technique reduces knee valgus loading. *Am J Sports Med.* 2009;37:194-200. doi: 10.1177/0363546509334373
6. Bondarenko KK, Bondarenko АЕ. Racional'nost' peredvizhenij hokkeistov v zavisimosti ot proprioceptii kolennyh sustavov. Materialy. IX Vserossiyskoj nauchno-prakticheskoy konferencii: Innovacionnye tekhnologii v sporte i fizicheskom vospitani podrastayushchego pokoleniya; 2019, 19 aprelya. Moskva, RF; 2019. p.501-4. (in Russ.)
7. Dempsey AR, Elliott BC, Munro BJ, Steele JR, Lloyd DG. Whole body kinematics knee moments that occur during an overhead catch and landing task in sport. *Clin Biomech.* 2012;27:66-74.
8. Bondarenko KK, Bobariko RI. Opredelenie proprioceptivnosti sustavnyh polozhenij nizhnih konechnostej hokkeistov. Materialy. V regional'noj nauchno-konferencii molodyh uchenyh: Sovremennye problemy fizicheskoy kul'tury, sporta i molodezhi; 2019, 28 fevralya. CHurapcha, 2019. p.65-8. (in Russ.)
9. Pollard CD, Sigward SM, Powers CM. Gender differences in hip joint kinematics and kinetics during side-step cutting maneuver. *J Sports Med.* 2007;17:38-42.
10. Lynn S, Noffal GJ. Frontal plane moments in golf: Effect of target side foot position at address. *J Sci Med Sport.* 2010;9:275-81.
11. Bondarenko KK, Bondarenko AYe, Kobets EA. Izmeneniye funktsional'nogo sostoyaniya skeletnykh myshts pod vozdeystviyem napryazhonnoy nagruzochnoy deyatel'nosti. *Nauka i Osvita.* 2010;6:35-40. (in Russ.)
12. Bondarenko KK, Bondarenko АЕ. Faktory riska travmatizma perednej krestoobraznoj svyazki pri peredvizhenii florbolistov. Aktual'nye problemy mediciny: sbornik nauchnyh statej Resp. nauch.-pr. konf. s mezhd. uchastiem; 2019, 21-22 noyabrya. Gomel', RB; 2019;4:15-18. (in Russ.)

Поступила 27.05.2020

Received 27.05.2020

Принята в печать 24.09.2020

Accepted 24.09.2020

Сведения об авторах:

Бондаренко Константин Константинович — к.п.н., доцент, доцент кафедры физического воспитания и спорта УО «Гомельский государственный медицинский университет»; заведующий кафедрой физического воспитания и спорта УО «Гомельский государственный университет имени Ф.Скорины»; e-mail: kostyabond67@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7383-7790>

Новик Галина Владимировна — к.п.н., доцент, заведующая кафедрой физического воспитания и спорта УО «Гомельский государственный медицинский университет»; e-mail: sport@gsmu.by; <https://orcid.org/0000-0003-3349-9277>

Бондаренко Алла Евгеньевна — к.п.н., доцент, заместитель декана факультета физической культуры УО «Гомельский государственный университет имени Ф.Скорины»; e-mail: aebondarenko@gsu.by; <https://orcid.org/0000-0002-0566-0660>

Автор, ответственный за переписку:

Бондаренко Константин Константинович — e-mail: kostyabond67@mail.ru

Information about authors:

Konstantin K. Bondarenko — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor at the Department of Physical Education and Sports of the EI «Gomel State Medical University», Head of the Department of Physical Education and Sports of Francisk Skorina Gomel State University; e-mail: kostyabond67@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7383-7790>

Galina V. Novik — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Physical Education and Sports of the EI «Gomel State Medical University»; e-mail: sport@gsmu.by; <https://orcid.org/0000-0003-3349-9277>

Alla Ye. Bondarenko — Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor, Deputy Dean of the Faculty of Physical Culture of Francisk Skorina Gomel State University; e-mail: aebondarenko@gsu.by; <https://orcid.org/0000-0002-0566-0660>

Corresponding author:

Konstantin K. Bondarenko — e-mail: kostyabond67@mail.ru