

БИОМЕХАНИКА ФАЗЫ ПОЛЕТА ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ПРЫЖКА В ДЛИНУ С МЕСТА У СПОРТСМЕНОВ РАЗЛИЧНОЙ КВАЛИФИКАЦИИ

Разуванова А.В.¹, Кошельская Е.В.¹, Андреев В.И.¹, Капилевич Л.В.^{1,2}

¹ Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск

² Национальный исследовательский Томский государственный университет, г. Томск

РЕЗЮМЕ

Методом Motion Tracking исследовались биомеханические особенности фазы полета при выполнении прыжка в длину с места у спортсменов различной квалификации. Полученные результаты свидетельствуют, что эффективное управление положением тела в фазе полета может улучшить результативность прыжковых действий. Это управление осуществляется за счет перемещения частей тела – сгибания ног в коленях, разгибания в тазобедренных суставах, суставах позвоночника, плечевых суставах – и, как следствие, возникновения дополнительных моментов вращения, способствующих увеличению дальности прыжка. У нетренированных лиц эффективность управления телом в полете снижается из-за слабой координации движений и преобладания действий, направленных на безопасное приземление. Все выявленные закономерности можно рассматривать как результат формирования особого двигательного стереотипа, основанного на взаимодействии вестибулярных и статокINETических рефлексов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: прыжок, биомеханика, управление, спортсмены, Motion Tracking.

Введение

Прыжок вперед как двигательное действие напоминает подбрасывание предмета. На подбрасываемый предмет и на тело прыгуна действуют две одинаковые силы: тяжести и реакции опоры [1]. По величине угла вылета и силе толчка можно рассчитать траекторию полета. Фазы выполнения действия тоже совпадают: подготовительная, отталкивания, полета, приземления. Однако, в отличие от бросаемых снарядов, человек в фазе полета способен управлять своим телом, изменять расположение его частей относительно друг друга и общего центра тяжести, что оказывает влияние на траекторию и дальность полета [2, 3]. В связи с этим управление телом в полете становится актуальной задачей в спорте [4]. Для повышения эффективности такого контроля необходимо изучить особенности управления собственным телом в фазе полета у спортсменов различной квалификации.

Цель исследования – изучить биомеханические особенности фазы полета при выполнении прыжка в длину с места у спортсменов различной квалификации.

Материал и методы

Для решения поставленной цели было обследовано 30 лиц мужского пола в возрасте от 17 до 24 лет. По степени сформированности двигательного навыка они были разделены на две группы. В основную группу вошли легкоатлеты высокой квалификации (16 человек), занимающиеся более четырех лет и специализирующиеся в скоростно-силовых видах легкой атлетики. Контрольную группу составили студенты (14 человек), не имеющие спортивных разрядов в легкой атлетике. Все обследованные выполняли прыжок в длину с места. Данное упражнение не является соревновательным, но постоянно используется в тренировочном процессе легкоатлетов.

Для анализа ориентации звеньев тела, их расположения в пространстве и отношения к опоре использовался метод Motion Tracking – цифровая высокоскоростная кадровая фотосъемка движения. Пространственные перемещения звеньев тела спортсменов регистрировались с помощью видеокамеры Vision Research Phantom Mire eX2. Съемка прыжков велась со скоростью 100 кадров в секунду. Полученные данные были обработаны и проанализированы в программе StarTraceTracker 1.1 VideoMotion.

✉ Разуванова А.В., тел. 8-923-446-3000; e-mail: visann@tpu.ru

Результаты и обсуждение

Начало фазы полета у испытуемых из двух групп фиксируется на разных временных отрезках. За счет большей длительности подготовительной фазы фаза полета у основной группы начинается только на третьей секунде и продолжительность ее составляет свыше 0,5 с. В контрольной группе фаза полета начинается уже в конце первой секунды, продолжительность фазы – менее 0,4 с в связи с низкой скоростью перемещения и выпрыгиванием вверх.

Форма траектории движения голеностопного сустава в обеих группах примерно одинаковая (рис. 1), кривые вертикального и горизонтального перемещения по форме совпадают. Существенные отличия наблюдаются в длине перемещений – в основной группе она больше на $(1,75 \pm 0,55)$ м. Таким образом, навык выпрыгивания вперед значительно не изменяется даже при специальных тренировках. Однако положение тела в фазе полета существенно различается между группами (рис. 2). У

спортсменов основной группы отмечается большее прогибание назад во всех суставах, особенно в тазобедренном и в суставах позвоночника.

Аналогичные закономерности выявлены в траекториях перемещения тазобедренного и коленного суставов. Форма траектории у испытуемых из разных групп схожа, отличия только в величине перемещений. Так, коленный сустав по горизонтали у спортсменов перемещается на 2 м дальше (рис. 3).

Значительные различия были зафиксированы между группами в форме вертикальной компоненты траектории тазобедренного сустава. Если в основной группе траектория имела эллиптическую форму, то у начинающих спортсменов – синусоидальную (рис. 4). Тазобедренный сустав (который практически совпадает с общим центром тяжести (ОЦТ)) во время полета совершает колебания в вертикальной плоскости, что отражает неэффективное управление положением тела в пространстве и снижает результат выполнения прыжка.

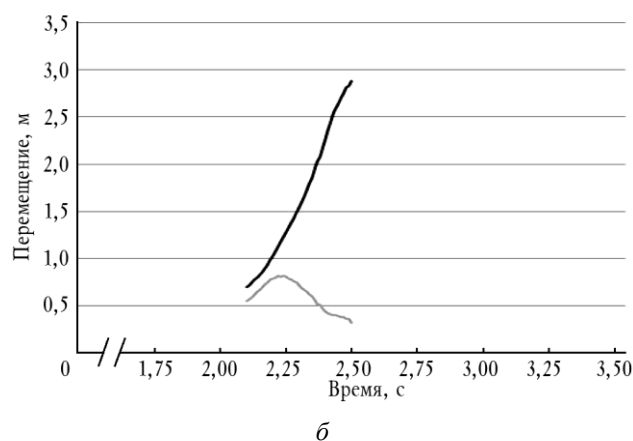
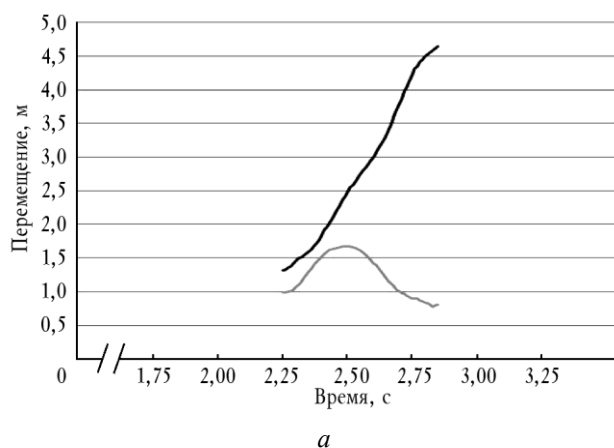


Рис. 1. Перемещение голеностопного сустава у испытуемых основной (а) и контрольной (б) групп. Светлая линия – вертикальное перемещение, темная линия – горизонтальное перемещение



Рис. 2. Стоп-кадр момента зависания в воздухе в фазе полета испытуемых основной (а) и контрольной (б) групп

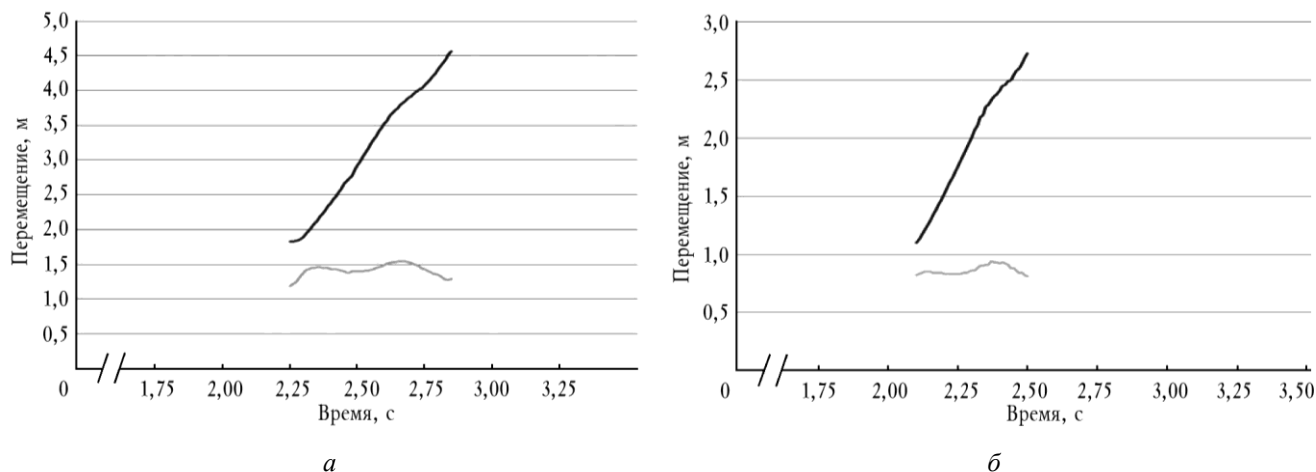


Рис. 3. Перемещение коленного сустава у испытуемых основной (а) и контрольной (б) групп. Светлая линия – вертикальное перемещение, темная линия – горизонтальное перемещение

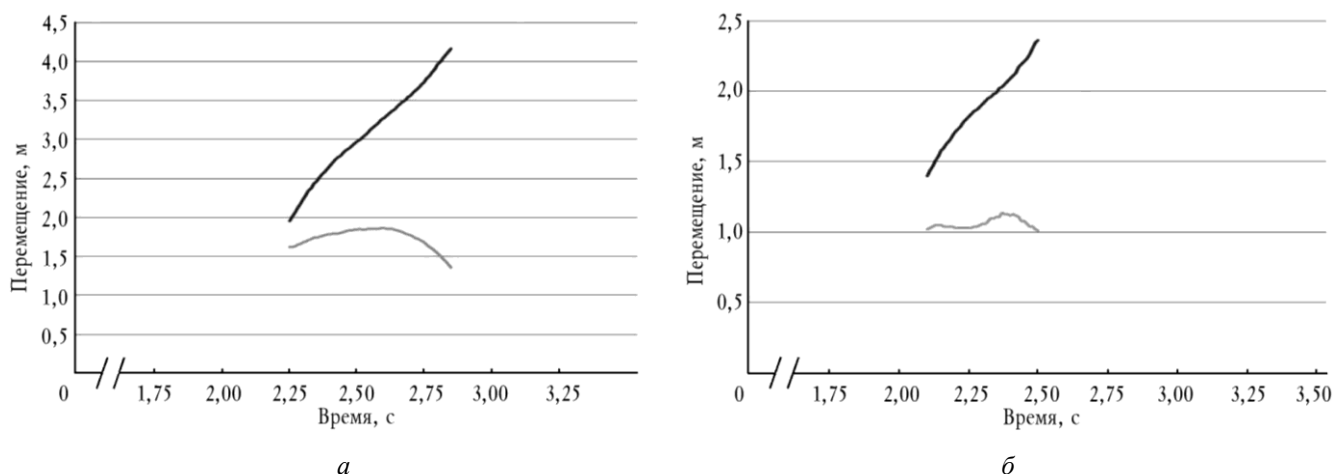


Рис. 4. Перемещение тазобедренного сустава у испытуемых основной (а) и контрольной (б) групп. Светлая линия – вертикальное перемещение, темная линия – горизонтальное перемещение

При рассмотрении скоростных показателей перемещения у испытуемых из двух групп наблюдается такая же схожесть в динамике показателей, как и в перемещении. Во время фазы полета у основной группы голеностопный сустав перемещается с ускорением в горизонтальном и вертикальном направлениях (рис. 5, а). При этом в момент отрыва стоп (2,25–2,40 с) эти две кривые имеют одинаковое направление, а уже в период «полета» кривая вертикальной скорости резко меняет свое направление. Это происходит за счет техники прыжка – профессиональный спортсмен после отрыва и движения диагонально вверх, закидывает голеностоп вверх и назад по описанной выше траектории. Представители контрольной группы совершают похожие манипуляции, однако по графику (рис. 5, б) видно, что вертикальная скорость голеностопа после отталкивания практически сразу уходит в отрицательные значения, минуя фазу (кото-

рая есть у спортсменов), когда и горизонтальная, и вертикальная скорости растут. По сути, в начале фазы полета представители контрольной группы гасят набранную скорость отводом ног назад. С этим связана ярко выраженная на графиках (рис. 5–7) малая продолжительность фазы полета у контрольной группы.

Иные закономерности были зафиксированы при анализе скоростей движения коленного сустава. У контрольной группы (рис. 6, б) с момента отрыва отмечается рост горизонтальной скорости и спад вертикальной, т.е. движение вперед преобладает над движением вверх. В основной группе, напротив, с момента отрыва от опоры наблюдается рост и горизонтальной, и вертикальной скоростей, последняя начинает уменьшаться через 0,1 с. У квалифицированных спортсменов приземление происходит на фоне снижения горизонтальной скорости, а у начинающих прыгунов – на фоне ее роста, т.е. преждевременно.

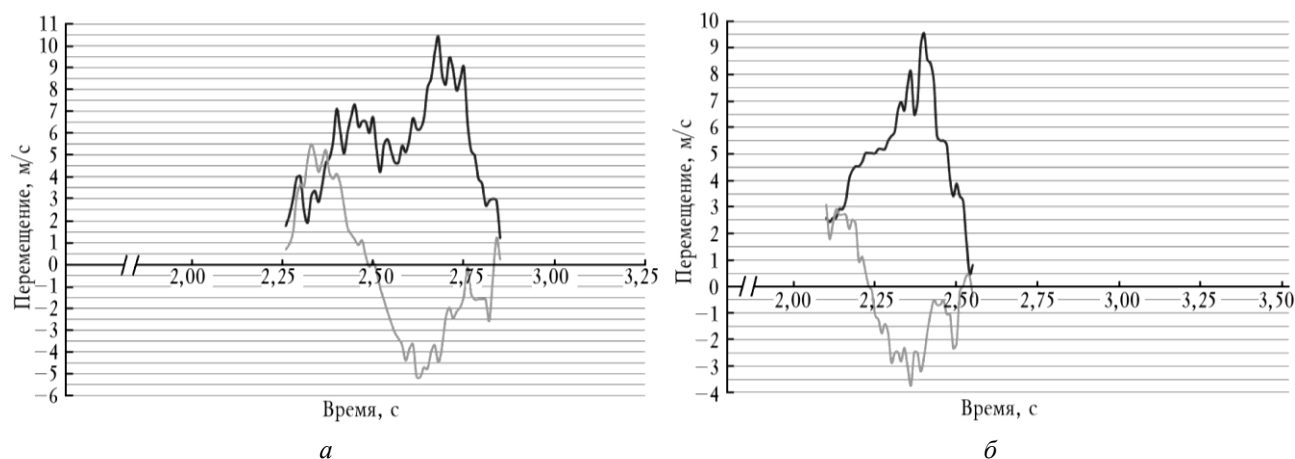


Рис. 5. Линейные скорости перемещения голеностопного сустава у испытуемых основной (а) и контрольной (б) групп. Светлая линия – вертикальная скорость. Темная линия – горизонтальная скорость

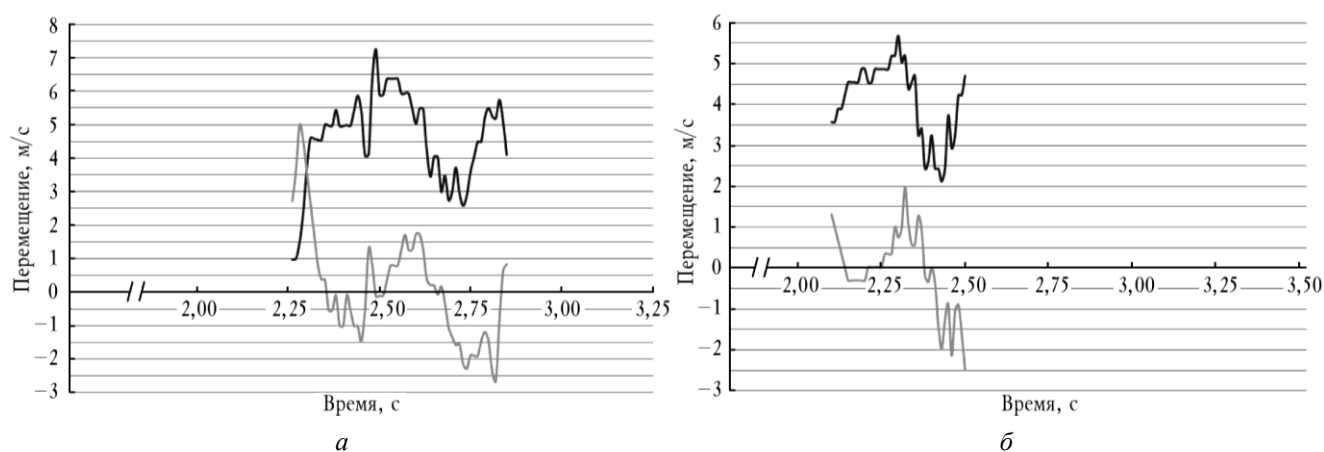


Рис. 6. Линейные скорости перемещения коленного сустава у испытуемых основной (а) и контрольной (б) групп. Светлая линия – вертикальная скорость, темная линия – горизонтальная скорость

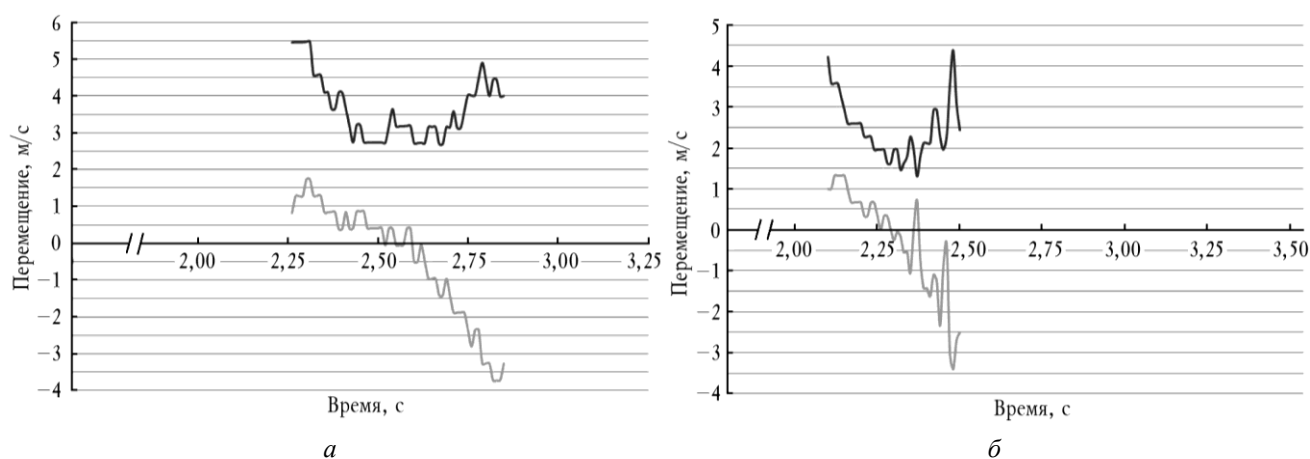


Рис. 7. Скорости перемещения тазобедренного сустава у испытуемых основной (а) и контрольной (б) групп. Светлая линия – вертикальная скорость, темная линия – горизонтальная скорость

Графики скоростей тазобедренных суставов (рис. 7, а, б) по своей структуре похожи у испытуемых из двух групп, основная особенность связана с фазой завершения полета. Если у основной группы после

перехода самой высокой точки прыжка скорости меняются разнонаправленно и плавно, то у контрольной группы они совершают резкие колебания, при этом не меняя общей траектории, просто делая ее более «рва-

ной» – это связано с процессами подстройки положения ОЦТ к приземлению. Резкие кратковременные увеличения вертикальной компоненты скорости можно рассматривать как попытки оттянуть момент приземления. Однако на спортивном результате эти попытки не отражаются, так как прироста горизонтальной компоненты скорости при этом не регистрируется.

На рис. 8 представлена динамика скоростей сгибания в коленном суставе у спортсменов основной и контрольной групп. В момент выпрыгивания угловая скорость в коленном суставе у спортсменов основной группы намного выше, что отражает эффективность отталкивания. Затем эта скорость становится отрицательной (сустав сгибается), а перед приземлением снова возрастает – происходит подготовка к амортизации удара. В то же время у контрольной группы движение коленного сустава сопровождается постоянными колебаниями. Поскольку эти колебания усиливаются перед приземлением, можно полагать, что таким образом низкоквалифицированные спортсмены осуществляют подготовку к приземлению, снижая тем самым результативность прыжка.

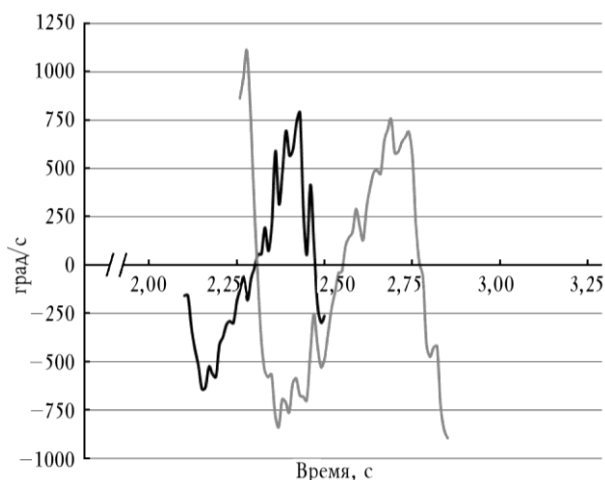


Рис. 8. Угловая скорость сгибания и разгибания коленного сустава у испытуемых основной (светлая линия) и контрольной (темная линия) групп

Заключение

Меньшая длина прыжка у нетренированных лиц в сравнении со спортсменами традиционно рассматривается как результат сочетания двух факторов – силы отталкивания и техники выпрыгивания [5]. Последняя трактуется преимущественно как величина угла выпрыгивания – чем он больше, тем лучше. Однако полученные результаты свидетельствуют, что эффективное управление положением тела в фазе полета может улучшить результативность прыжковых действий. Это управление осуществляется за счет перемещения частей тела – сгибания ног в коленях, разгибания в тазобедренных суставах, суставах позвоночника, плечевых суставах – и, как следствие, возникновения дополнительных моментов вращения, способствующих увеличению дальности прыжка. У нетренированных лиц эффективность управления телом в полете снижается из-за слабой координации движений и преобладания действий, направленных на безопасное приземление. Все выявленные закономерности можно рассматривать как результат формирования особого двигательного стереотипа, основанного на взаимодействии вестибулярных и статокINETических рефлексов [4, 6].

Литература

1. Krivoschekov S.G., Lushnikov O.N. Psychophysiology of sports addictions (exercise addiction) // Human Physiology. 2011. 37 (4). P. 509–513.
2. Курьсь В.Н. Биомеханика приземления в спорте // Вестник Адыгейского государственного университета. Серия 3: Педагогика и психология. 2011. № 1. С. 194–202.
3. Магнус Р. Статические и статокINETические рефлексы. URL: <http://turboreferat.ru/medicine/staticheskie-i-statokinetichek-efleksy-r/193674-969843-page1.html> (дата обращения: 15.03.2014).
4. Казенников О.В., Липищ М.И. Об участии первичной моторной коры в программировании двигательной активности при ловле груза // Физиология человека. 2011. Т. 37, № 5. С. 108–112.
5. Бочаров М.И. Частная биомеханика с физиологией движения. Ухта: УГТУ, 2010. 235 с.
6. Капилевич Л.В. Физиологические механизмы координации движений в безопорном положении у спортсменов // Теория и практика физической культуры. 2012. № 7. С. 45–49.

Поступила в редакцию 01.11.2014 г.

Утверждена к печати 12.11.2014 г.

Разуванова Анна Владимировна (✉) – аспирант кафедры спортивных дисциплин НИ ТПУ (г. Томск).

Кошельская Елена Владимировна – ст. преподаватель кафедры спортивных дисциплин НИ ТПУ (г. Томск).

Андреев Владимир Игоревич – зав. кафедрой физического воспитания НИ ТПУ (г. Томск).

Капилевич Леонид Владимирович – профессор кафедры спортивных дисциплин НИ ТПУ (г. Томск), зав. кафедрой спортивно-оздоровительного туризма, спортивной физиологии и медицины НИ ТГУ (г. Томск).

✉ Разуванова Анна Владимировна, тел. 8-923-446-3000; e-mail: visann@tpu.ru

BIOMECHANICS OF FLIGHT PHASE WHEN RUNNING LONG JUMP FROM PLACE OF DIFFERENT QUALIFICATION SPORTSMEN

Razuvanova A.V.¹, Koshelskaya Ye.V.¹, Andreyev V.I.¹, Kapilevich L.V.^{1, 2}

¹ National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation

² National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation

ABSTRACT

Biomechanical features of flight phase when running long jump from place of different qualification sportsmen were investigated by method of Motion Tracking. The obtained results showed that the effective control of body position during the phase of flight can improve the effectiveness of jump actions. This control is performed by moving parts of the body – bending legs at the knee, extension in the hip joints, the joints of the spine, shoulder joints and, as a consequence, any additional torque, contributing to increase the range of the jumping. In untrained persons the effectiveness of the management body in flight is reduced due to weak coordination and a predominance of actions aimed at safe. All the patterns can be viewed as the result of formation of a particular movement pattern, based on the interaction of vestibular and statokinetic reflexes.

KEY WORDS: jump, biomechanics, control, athletes, Motion Tracking.

Bulletin of Siberian Medicine, 2014, vol. 13, no. 6, pp. 174–179

References

1. Krivoschekov S.G., Lushnikov O.N. Psychophysiology of sports addictions (exercise addiction). *Human Physiology*, 2011, 37 (4), pp. 509–513.
2. Kurys' V.N. Biomekhanika prizemleniya v sporte. *Vestnik Adygejskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya 3: Pedagogika i psihologiya*, 2011, no. 1, pp. 194–202 (in Russian).
3. Magnus R. *Staticheskie i statokineticheskie refleksy*. URL: <http://turboreferat.ru/medicine/staticheskie-i-statokineticheskie-refleksy-r/193674-969843-page1.html> (accessed 15.03.2014) (in Russian).
4. Kazennikov O.V., Lipshits M.I. Ob uchastii pervichnoi motornoj kory v programirovanii dvigatel'noj aktivnosti pri lovlе gruzа. *Fiziologija cheloveka – Human Physiology*, 2011, vol. 37, no. 5, pp. 108–112 (in Russian).
5. Bocharov M.I. *Chastnaya biomekhanika s fiziologiyei dvizheniya*. Ukhta, UGTU Publ., 2010. 235 p. (in Russian).
6. Kapilevich L.V. Fiziologicheskie mekhanizmy koordinatsii dvizhenij v bezopornom polozenii u sportsmenov. *Teoriya i praktika fizicheskoy kul'tury*, 2012, no. 7, pp. 45–49 (in Russian).

Razuvanova Anna V. (✉), National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation.

Koshelskaya Yelena V., National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation.

Andreyev Vladimir I., National Research Tomsk Polytechnic University, Tomsk, Russian Federation.

Kapilevich Leonid V., National Research Tomsk Polytechnic University; National Research Tomsk State University, Tomsk, Russian Federation.

✉ **Razuvanova Anna V.**, Ph. +7-923-446-3000; e-mail: visann@tpu.ru