

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ МЕДИЦИНА

УДК 611.97:612.76

© Коллектив авторов, 2016

О.И. Воронцова¹, Л.А. Удочкина², И.Г. Мазин¹, Л.А. Гончарова²

ЦИКЛ ДВИЖЕНИЯ ВЕРХНИХ КОНЕЧНОСТЕЙ ПРИ НОРМАЛЬНОЙ ХОДЬБЕ ЧЕЛОВЕКА

¹ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет», г. Астрахань

²ФГБОУ ВО «Астраханский государственный медицинский университет»

Минздрава России, г. Астрахань

Двигательная активность рук при ходьбе изучена недостаточно. Понимание локомоции верхних конечностей важно для клинической, спортивной, реабилитационной медицины. С использованием системы захвата и анализа движения определены кинематические параметры верхней конечности при ходьбе у 10 мужчин 18-22 лет с показателями симметрии перемещения рук, близкой к абсолютной. Движения верхних конечностей при ходьбе носят циклический характер. Начало цикла соответствует крайнему заднему верхнему положению кисти, середина – крайнему переднему верхнему положению кисти, окончание цикла соответствует возвращению кисти в крайнее заднее верхнее положение. Цикл переноса верхней конечности по времени совпадает с шаговым циклом ипсилатеральной нижней конечности. Он состоит из фазы переноса конечности вперед и фазы переноса конечности назад, занимающих по 50% времени цикла. Каждая фаза представлена одним периодом подъема и одним периодом падения руки (по 25% времени цикла каждая). Границами между фазами и периодами являются моменты занятия крайнего верхнего заднего и переднего положения кисти и два момента симметрии рук.

Ключевые слова: цикл движения верхних конечностей, мужчины.

O.I. Vorontsova, L.A. Udochkina, I.G. Mazin, L.A. Goncharova

THE CYCLE OF UPPER EXTREMITIES MOTION IN NORMAL WALKING OF A MAN

The movable activity of hands in walking is not enough investigated. The understanding of locomotion peculiarities in upper extremities is considered to be important for clinical, sport, rehabilitative medicine. Using the catching system and motion analysis there were defined cinematic parameters of upper extremity in walking of 10 men, 18-22 years of age, with index of symmetry of hands shifting close to absolute. The motion of upper extremities in walking has the cyclic character. The onset of cycle is connected with the point when the hand reaches marginal posterior upper position, the middle of cycle - with marginal anterior upper hand position and ending - with its return to marginal posterior upper position. The transferring cycle of upper extremity in time coincides with step cycle of ipsilateral lower extremity. The transferring cycle includes two phases: the phase of extremity transference forward and phase of extremity transference backward, each of them occupies 50% of cycle time. Each phase consists of one period of lifting and one period of hand falling (for 25% of cycle time). The border between phases and periods are the moments of marginal upper posterior and anterior hand position and two moments of hands symmetry.

Key words: cycle of upper extremities motion, men.

Изучение походки человека долгое время ограничивалось исследованием опорной, рессорной и двигательной функций пассивной части опорно-двигательного аппарата, работы скелетных мышц при нормальном и патологическом состояниях нижних конечностей, таза, позвоночника, а также при заболеваниях нервной системы.

Движения верхних конечностей при ходьбе исследованы значительно хуже, хотя они и являются частью единой системы движения человека [10,13], их вклад в локомоцию минимален.

Паттерн движения верхних конечностей во время ходьбы стал подробно изучаться только после установления факта существенного его влияния на биомеханические характеристики походки человека. Было выдвинуто несколько подтвердившихся впоследствии гипотез о роли раскачивания рук на такие важные параметры ходьбы, как вертикальное перемещение центра масс [12], метаболическая стоимость стабильности ходьбы [11],

снижение моментов реакции опоры [14]. Ученые изначально выдвигали предположения о пассивной роли рук, сравнивая их движения во время ходьбы с движением маятника. Другое направление исследований было посвящено доказательству существования сил, непосредственно вызывающих движение рук и придающих им активный характер. Н. Eiftman (1939), К. М. Jackson, et al. (1978) опубликовали результаты работ по изучению вращающих моментов плечевых суставов. Также было выдвинуто предположение, что движение рук является атавизмом, сохранившимся в процессе эволюции с периода, когда наши предки передвигались на четырех конечностях. Высказано мнение, что в нашем генофонде заложена диагональная походка, присущая далеким предкам человека – четвероногим, которые передвигают вперед одновременно две диагонально расположенные лапы, поскольку две несущие лапы являются опорой туловищу. Человеческая походка включает перенос вперед верхней конечности

на стороне противоположной нижней конечности, также выполняющий перенос вперед. Продвижение вперед правой стопы сопровождается продвижением вперед левой кисти и наоборот.

Самым перспективным направлением исследований явилось изучение электрической активности мышц, участвующих в движении верхних конечностей. Благодаря применению электромиографии M.L. Fernandez- Ballesteros в 1965 году была доказана доминирующая роль мышечной активности на перемещение верхних конечностей при ходьбе: движение руки вперед связано с активностью переднего пучка дельтовидной мышцы, назад – с сокращением заднего пучка дельтовидной мышцы.

Исследования эффективности ходьбы показали связь движения верхних конечностей с энергозатратами, заключающуюся в увеличении уровня расхода энергии при ходьбе с фиксированными верхними конечностями, что обусловлено вертикальным смещением центра масс [13].

В России, двигательный акт верхних конечностей при ходьбе изучался преимущественно через призму клинической и реабилитационной медицины [2,4-9]. Ведущим исследователем в этой области был профессор А.С. Витензон, являющийся одним из основоположников метода искусственной коррекции движений при ходьбе. Он рассматривал ходьбу человека как единый целостный двигательный акт, состоящий из согласованной работы мышц стопы, голени, бедра, таза и позвоночника. В своих работах А.С. Витензон упоминал также о движении рук при различных типах походок и у людей разных возрастов [1]. Однако до настоящего времени отечественными исследователями не проводился детальный анализ биомеханических параметров движений верхних конечностей при ходьбе здорового человека.

Это было связано в первую очередь с недооценкой роли рук при ходьбе, отсутствием современных технологий захвата движения человека и теоретической базы, на основе которой возможен анализ локомоций верхних конечностей при перемещении человека в вертикальном положении.

В связи с появлением мощных программно-аппаратных комплексов изучение походки человека вышло на новый уровень. Одним из таких комплексов является маркерная система захвата движений Vicon Motion Capture (Великобритания). Благодаря инновационным технологиям появилась возможность зарегистрировать движение всех сег-

ментов тела в трех плоскостях с высокой точностью, а также составить индивидуальную трехмерную модель скелета для каждого исследуемого. Данная технология позволяет проанализировать характер движений верхних конечностей, зафиксировав их кинетические и кинематические параметры.

В доступных источниках не удалось обнаружить работ, посвященных исследованию структуры цикла движения верхних конечностей при ходьбе человека. Исследование закономерностей одного цикла позволяет составить представление о движении в целом.

Целью данной работы явилась разработка структуры цикла движения верхних конечностей, привязанного к шаговому циклу человека.

Материал и методы

Исследование было проведено в Лаборатории по изучению биомеханики движений человека Астраханского государственного университета. Лаборатория располагает программно-аппаратным комплексом Vicon, предназначенным для захвата и анализа движений. Во время проведения исследования использовались 10 цифровых инфракрасных камер Vicon T40, видеокамера Bonita 720, стабилметрическая платформа АМТИ, цифровой мультиплексный коммутатор Vicon Gigaset Lab, программное обеспечение Vicon Nexus и Vicon Polygon.

В исследовании принимали участие 45 мужчин без визуально определяемой асимметрии движения верхних конечностей при ходьбе в возрасте от 18 до 22 лет, врачебное обследование которых не выявило отклонений в состоянии здоровья. В среднем показатель роста исследуемых составил $174 \pm 4,5$ см, показатель веса – $68 \pm 3,4$ кг.

В процессе исследований у части участников эксперимента были выявлены признаки асимметрии локомоции рук, определение которой стало возможным при помощи системы захвата движений. Таким образом, из 45 исследуемых в группу с нормативными параметрами были отобраны 10 человек с показателями симметрии, близкой к абсолютной.

Исследование проводилось в одинаковых условиях: в одно и то же время суток, при одинаковых уровнях освещенности, шума и температуры окружающей среды. Все испытуемые выполняли прохождение прямолинейной дистанции длиной 8 метров по 7 раз. Для захвата движений использовалась скелетная модель Plug-in Gait Full body, состоящая из 40 пассивных светоотражающих маркеров. Регистрировалось взаимное положение верх-

них и нижних конечностей в цикле походки в сагиттальной плоскости. Динамика перемещения верхних конечностей определялась по перемещению маркеров RFIN и LFIN, расположенных над головками второй пястной кости правой и левой кистей соответственно (рис. 1).

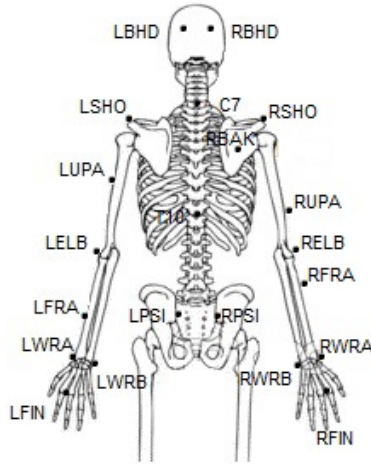


Рис. 1. Положение маркеров на верхней части тела в соответствии с моделью Plug-In Gait (вид сзади)

Захват движений производился программным обеспечением Vicon Nexus, а построение 3-мерной скелетной модели обследуемых и отображение значений параметров в виде графиков – с помощью Vicon Polygon.

Все полученные данные подвергались статистической обработке методами вариационной и непараметрической статистики. Степень точности исследования определялась вероятностью безошибочного прогноза меньшим или равным 0,95% и уровнем значимости $P \leq 0,05$; для признаков с нормальным распределением использовался критерий Стьюдента, для признаков с распределением, отличным от нормального, непараметрический критерий Уилкоксона (Манна–Уитни) с тем же уровнем значимости [3]. В работе использовался пакет Microsoft Excel.

Результаты и обсуждение

Движения верхних конечностей при ходьбе носят циклический характер, так как элементы локомоции непрерывно повторяются в определенной последовательности на протяжении всего времени передвижения. Такими элементами являются перемещение рук вперед и назад. Движение руки от одного крайнего положения к другому и возвращение обратно составляет цикл перемещения верхней конечности. Началом цикла можно считать как движение руки вперед, так и движение в обратном направлении – назад. Циклы тесно связаны между собой – конец одного цикла является началом следующего.

Фундаментом для исследования циклических движений является анализ их моментов, позволяющий создать структурную схему цикла.

Движение обеих верхних конечностей происходит в противоположных фазах, совпадающих по времени начала и окончания движений. Визуально начало движения правой руки назад по времени совпадает с началом движения левой руки вперед. Эти два противоположно направленных движения правой и левой рук также совпадают по времени занятия ими крайних положений при ходьбе.

Применение видео- и 3D-анализа движения верхних конечностей шагающего человека в сагиттальной плоскости позволяет сделать вывод о взаимосвязи раскачивания обеих рук с перемещением ног и совпадении по времени занятия верхними конечностями крайних положений при ходьбе.

Окончание движения правой кисти назад по времени совпадает с начальным контактом ипсилатеральной ноги с опорой, а конец движения вперед с начальным контактом контрлатеральной ноги. Возвращение правой кисти назад в крайнее положение совпадает с последующим начальным контактом ипсилатеральной ноги с опорой. Очевидно, что движение кисти вперед и возвращение ее в начальное положение происходят в промежуток времени между двумя последовательными начальными контактами ипсилатеральной ноги с опорной поверхностью. Описанные контакты являются началом и концом шагового цикла – главного инструмента в анализе походки человека. Это дает возможность сделать вывод о совпадении времени циклов движения кисти и шагового цикла ипсилатеральной ноги, что позволяет исследовать движение верхних конечностей при ходьбе в границах времени шагового цикла походки.

Были проанализированы колебательные движения верхних конечностей в семи прохождениях дистанции, состоящей из семи шаговых циклов. Для этого в каждом случае создавалась индивидуальная трехмерная скелетная модель, позволяющая более точно визуализировать движения верхних и нижних конечностей. Для определения времени достижения крайних положений кисти определялась траектория движения маркера RFIN, расположенного на уровне головки третьей пястной кости, по оси Z. Занятие крайних положений траектории фиксировалось в процентах от шкалы времени цикла шага. Для анализа использовались цикл шага, традиционно начинающийся с правой ноги, и сопут-

ствующее ему крайнее заднее положение правой кисти.

Наиболее удобным инструментом для описания двигательного акта рук в цикле шага являются характеристики колебательных движений физического маятника. Как известно, маятник, совершая колебания, проходит три основных момента или события. Ими являются два крайних положения груза маятника и одно его нейтральное положение, когда ось нити маятника находится на одной линии с осью гравитации.

Аналогичными моментами движения кисти при визуальном, 3D-анализе трехмерной скелетной модели и траектории маркера RFIN в цикле шага стали: момент ее крайнего заднего положения, момент симметрии рук, когда они занимают нейтральное положение вдоль тела и момент крайнего переднего положения кисти.

Наиболее наглядно моменты достижения кистями крайних положений демонстрирует график изменения перемещения маркера RFIN по оси Z (рис. 2).

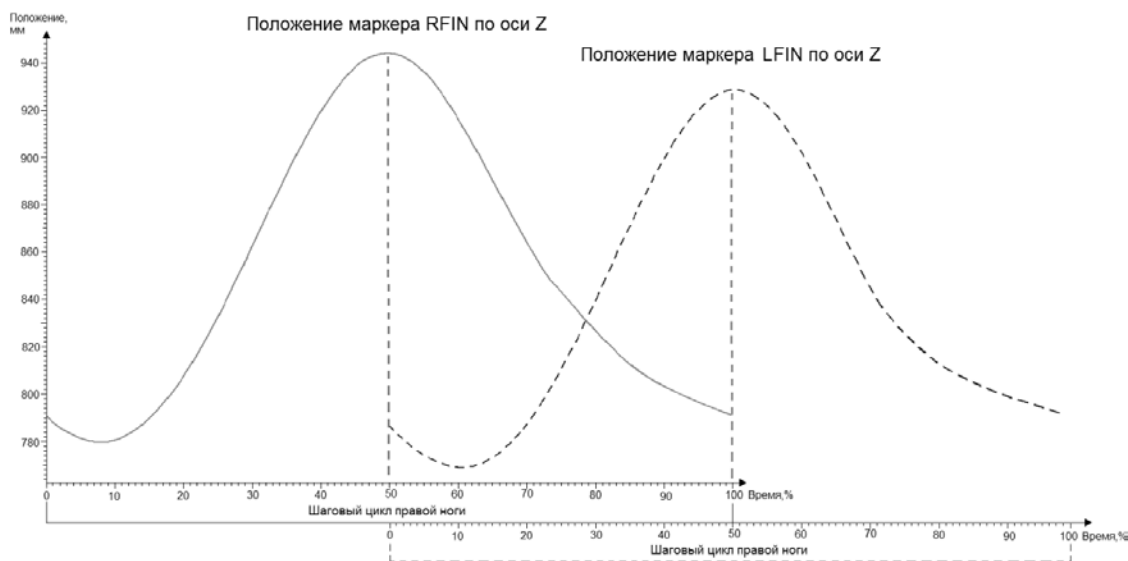


Рис. 2. Положение маркера RFIN по оси Z

Правая кисть занимает крайнее заднее верхнее положение, соответствующее 0 % шкалы времени шагового цикла, совпадающее с моментом начального контакта правой ноги с опорой и достижением крайнего переднего верхнего положения левой кисти на 50%.

Далее следует движение руки вперед до момента симметричного расположения рук, близкого к нулевому положению в основной стойке, который приходится на 25 % времени цикла шага. Этот момент совпадает по времени с симметричным расположением обоих коленных суставов в фазе опоры ипсилатеральной ноги. В начале движения наблюдается пик максимально низкого положения руки на 10 % времени цикла. Это связано с подъемом таза на стороне правой ноги, находящейся в фазе опоры, и соответствующим ему наклоном плечевого пояса вправо, что приводит к занятию правой кисти крайнего нижнего положения при переносе ее вперед.

Далее движение кисти продолжается до занятия ею крайнего переднего положения, соответствующего 50 % времени цикла шага, что совпадает с начальным контактом контралате-

ральной ноги с опорой. С этого момента движение кисти приобретает обратное направление и проходит момент симметрии в 75 % времени, которое совпадает с симметричным положением коленных суставов в фазе переноса ипсилатеральной ноги, и достигает момента крайнего заднего положения в 100% времени.

Движение груза маятника по оси Z от момента крайних верхних положений до нейтрального характеризуется как падение, а от момента нейтрального положения до крайних положений – как подъем. Исходя из этого становится возможным разделить временные интервалы между моментами цикла переноса рук на периоды падения и подъема конечности. Началом периода падения является крайнее заднее положение кисти, концом периода падения является занятие верхними конечностями симметричного положения. Началом периода подъема является симметричное положение верхних конечностей, а концом периода – занятие кистью крайнего переднего положения.

В шаговом цикле можно выделить два периода падения и два периода подъема верхних конечностей. Анализ направления их

движения позволяет разбить цикл перемещения руки на две фазы: фазу переноса конечности вперед с момента крайнего заднего положения кисти до момента ее крайнего переднего положения и фазу переноса конечности назад с момента крайнего переднего положе-

ния кисти до момента ее крайнего заднего положения. Каждая фаза имеет по одному периоду падения и одному периоду подъема. Все это позволяет построить структурную схему движения верхних конечностей во временных границах шагового цикла (рис. 3).

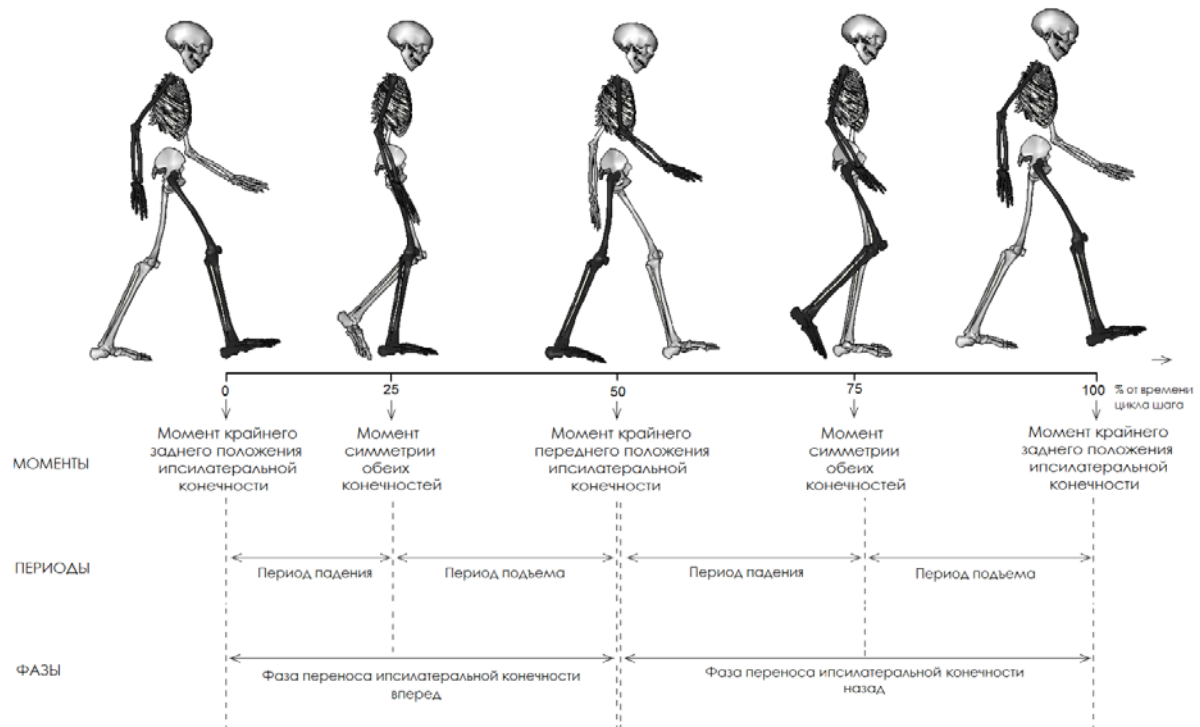


Рис. 3. Структура цикла движения рук

Выводы

1. Движения верхних конечностей при ходьбе носят циклический характер. Начало цикла приходится на достижение кистью крайнего заднего верхнего положения, середина цикла на крайнее переднее верхнее положение кисти и окончание цикла на ее возвращение в крайнее заднее верхнее положение.

2. Достижение крайнего заднего положения кисти соответствует времени между двумя последовательными начальными контактами ипсилатеральной нижней конечности с опорой. Цикл переноса верхней конечности по времени совпадает с шаговым циклом ипсилатеральной нижней конечности.

Это позволяет анализировать движение верхних конечностей при ходьбе в границах времени цикла шага.

3. На основе разработанной нами структурной схемы цикла переноса верхних конечностей при ходьбе человека выявлено, что цикл переноса состоит из двух фаз: фазы переноса конечности вперед и фазы переноса конечности назад, занимающих по 50% времени цикла. Каждая фаза состоит из одного периода подъема и одного периода падения руки, каждый из которых занимает 25% времени цикла. Границами между фазами и периодами являются крайнее верхнее заднее и переднее положения кисти и два момента симметрии рук.

Сведения об авторах статьи:

Воронцова Ольга Ивановна – к.п.н., руководитель Центра коллективного пользования по созданию мультимедиа-контента с элементами виртуальной реальности ФГБОУ ВО АГУ. Адрес: 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а. E-mail: aspuvrontsova@gmail.ru.

Удочкина Лариса Альбертовна – д.м.н., доцент, зав. кафедрой анатомии ФГБОУ ВО АГМУ Минздрава России. Адрес: 141000, г. Астрахань, ул. Бакинская, 121. E-mail: udochkin-lk@mail.ru.

Мазин Игорь Геннадьевич – специалист Центра коллективного пользования по созданию мультимедиа-контента с элементами виртуальной реальности ФГБОУ ВО АГУ. Адрес: 414056, г. Астрахань, ул. Татищева, 20а. E-mail: ig.mazin2017@yandex.ru.

Гончарова Людмила Анатольевна – д.м.н., доцент, профессор кафедры детской хирургии ФГБОУ ВО АГМУ Минздрава России. Адрес: 141000, г. Астрахань, ул. Бакинская, 121. E-mail: sanomed@rambler.ru.

ЛИТЕРАТУРА

1. Витензон, А.С. Закономерности нормальной и патологической ходьбы человека. – М.: ЦНИИПП, 1998. – 66 с.

2. Гильмутдинова, Л.Т. Медицинская реабилитация больных с травмами верхних конечностей / Л.Т. Гильмутдинова, Н.С. Кутляхметов, А.Р. Сахабутдинова // *Фундаментальные исследования*. – 2014. – № 10. – С. 647-650.
3. Гублер, Е.В. Информатика в патологии, клинической медицине и педиатрии / Е.В. Гублер. – Л.: Медицина, 1990. – 176 с.
4. Деревцова, С.Н. Соматотип и особенности восстановления объема движений верхней конечности больных, перенесших инсульт / С.Н. Деревцова, В.Г. Николаев, С.В. Прокопенко // *Сибирское медицинское обозрение*. – 2009. – № 5. – С. 54-57.
5. Корольков, А.Н. Точность ощущения движений пронации-супинации свободных верхних конечностей / А.Н. Корольков, К.О. Ольховикова // *Известия Тульского государственного университета. Физическая культура. Спорт*. – 2014. – № 4. – С. 95-100.
6. Корянова, М.М. Эффективность этапного восстановительного лечения детей с последствиями родовых периферических парезов верхней конечности: дис. ... канд. мед. наук. – Пятигорск, 2005. – 78 с.
7. Мусилов, М.М. Возможности реабилитации больных и инвалидов с последствиями сочетанной травмы магистральных сосудов и периферических нервов верхних конечностей (клиническое исследование): дис. ... канд. мед. наук. – Махачкала, 2004. – 111 с.
8. Панина, О.В. Восстановление двигательной функции верхней конечности у больных с церебральным инсультом в острый период течения заболевания: автореф. дис. ... канд. мед. наук. – М., 2005. – 45 с.
9. Пекшев, Г.Г. Диагностика и лечение хронического болевого синдрома и нарушений функции верхней конечности после комбинированного и комплексного лечения рака молочной железы: дис. ... канд. мед. наук. – Барнаул, 2004. – 150 с.
10. Kubo, M. Coordination of pelvis-HAT (head, arms and trunk) in anterior-posterior and medio-lateral directions during treadmill gait in preadolescents with/without Down syndrome / M. Kubo, B. Ilich // *J. Gait Posture*. – 2006. – Vol. 23. – P.512-518.
11. Ortega, J. 2008 Effects of aging and arm swing on the metabolic cost of stability in human walking / J. Ortega, L. A. Fehlmann, C. T. Farley // *J. Biomech.* – 2008. – Vol. 41. – P. 3303-3308.
12. Rietdyk, S. Anticipatory locomotor adjustments of the trail limb during surface accommodation / S. Rietdyk // *J. Gait Posture*. – 2006. – Vol. 23. – P. 268-272.
13. Umberger, B. 2008 Effects of suppressing arm swing on kinematics, kinetics, and energetics of human walking. / B. Umberger // *J. Biomech.* – 2008. – Vol. 41. – P. 2575-2580.
14. van der Krogt, M. M. Walking speed modifies spasticity effects in gastrocnemius and soleus in cerebral palsy gait / M. M. van der Krogt, C. A. Doorenbosch, J. G. Becher, and J. Harlaar // *J. Clin. Biomech.* – 2009. – Vol. 24. – P. 422-428.

УДК 615.275.4

© Р.М. Катаева, Е.М. Степанова, Э.Ф. Аглетдинов, 2016

Р.М. Катаева, Е.М. Степанова, Э.Ф. Аглетдинов
АНТИРАДИКАЛЬНАЯ АКТИВНОСТЬ ЭТИЛОВОГО ЭФИРА (±)-11,15-ДИДЕЗОКСИ-16-МЕТИЛ-16-ГИДРОКСИПРОСТАГЛАНДИНА Е1
ФГБОУ ВО «Башкирский государственный медицинский университет»
Минздрава России, г. Уфа

Многие природные простагландины и их синтетические аналоги обладают неоднократно подтвержденной антиоксидантной и антирадикальной активностью, которой в свою очередь объясняются их цитопротекторная и иммуностимулирующая активность. В настоящей работе исследованы антиоксидантные и антирадикальные свойства этилового эфира (±)-11,15-дидезокси-16-метил-16-гидроксипростагландин Е1 в концентрациях 2×10^{-6} и 1×10^{-8} г/мл. С этой целью использованы модельные системы с генерацией гидроксильного радикала, супероксиданион-радикала, генерации активных форм кислорода в цельной крови с хемилюминесцентной детекцией, система определения стабильного радикала α -дифенил- β -пикрилгидразина для выявления антирадикальной активности. Показаны относительно высокая неспецифическая дисмутазная активность в отношении O_2^{\bullet} , способность 11-ДМП к восстановлению в модельной смеси, содержащей радикал α -дифенил- β -пикрилгидразина, способность ограничивать форболмеристатацетатзависимый процесс активации фагоцитарных клеток крови. Установлено, что 11-ДМП не обладает активностью в отношении гидроксильного радикала.

Ключевые слова: простагландины, антиоксидантная активность, антирадикальная активность.

R.M. Kataeva, E.M. Stepanova, E.F. Agletdinov
ANTIRADICAL ACTIVITY OF ETHYL ESTER (±) -11,15-DIDEOXY-16-METHYL-16-E1 HYDROXYPROSTAGLANDIN E1

Many natural prostaglandins and their synthetic analogues have repeatedly confirmed antioxidant and anti-radical activity, which, in turn, is explained by their cytoprotective and immunostimulatory activity. The present study shows the antioxidant and antiradical properties of ethyl (±)-11,15-dideoxy-16-methyl-16-hydroxyprostaglandin E1 in concentrations of 2×10^{-6} and 1×10^{-8} gr/ml. To this end, we used the model systems with generation of the hydroxyl radical, superoxide anion - radical, active oxygen forms generation system in the whole blood with chemiluminescent detection, the system determining stable α -diphenyl- β -picrylhydrazine radical to identify antiradical activity. It shows a relatively high nonspecific dismutase activity against O_2^{\bullet} , ability to restore a model mixture containing radical α -diphenyl- β -picrylhydrazine, the ability to restrict activation process of phagocyte blood cells. It is shown that (±)-11,15-dideoxy-16-methyl-16-hydroxyprostaglandin E1 has no activity against hydroxyl radical.

Key words: prostaglandines, antioxidant activity, antiradical activity.

Благодаря высокой и разносторонней биологической активности простагландины (ПГ) находят все более широкое применение в медицинской практике в качестве лекарственных препаратов. Постоянно расширяется и область их применения [7,8].

11-дезоксимизопропростол – этиловый эфир (±)-11,15-дидезокси-16-метил-16-

гидроксипростагландин Е1 (11-ДМП), синтетический аналог простагландина Е1, близок по химическому строению с мизопропростом и существенно превосходит последний по фармакологической активности [4]. К настоящему моменту описаны утеротоническая, противовоспалительная, противорвотная, иммуностимулирующая и гепатопротекторная активность 11-