

# АНТИГРАВИТАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ВОССТАНОВЛЕНИЯ ХОДЬБЫ В КЛИНИЧЕСКОЙ НЕЙРОРЕАБИЛИТАЦИИ

УДК 616-78

Даминов В.Д., Горохова И.Г., Ткаченко П.В.

ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова», Москва, Россия

## ANTIGRAVITY TECHNOLOGIES FOR WALKING RECOVERY IN CLINICAL REHABILITATION

Daminov VD., Gorokhova IG., Tkachenko PV.

Pirogov National Medical & Surgical Center, Moscow, Russia

### Введение

Разработка инновационных немедикаментозных технологий и высокотехнологичных медицинских услуг в сфере медицинской реабилитации больных с наиболее важными в социальном плане заболеваниями является одной из приоритетных задач медицины и важной составляющей Федерального закона «Об основах охраны здоровья граждан в Российской Федерации», № 323-ФЗ от 21.11.2011 г., и Госпрограммы развития здравоохранения РФ до 2025 года, утвержденной правительством РФ 24.12.2012 г.

Актуальность тематики обусловлена очевидными медико-экономическими преимуществами немедикаментозных технологий реабилитации по сравнению с лекарственной терапией, а также дефицитом разработанных и разрешенных технологий медицинской реабилитации больных в системе здравоохранения России [1].

Способность к передвижению в пространстве – одна из наиболее важных двигательных функций живого организма. Ходьба оптимально реализуется только при условии нормального функционирования большого количества различных отделов центральной нервной системы, и поэтому наиболее частым и инвалидизирующим проявлением большинства социально значимых заболеваний является нарушение функции ходьбы различной степени выраженности [2].

Утверждение, что «ходьба тренируется только в ходьбе» упоминается в многочисленных исследованиях. Ходьба по дорожке с разгрузкой массы тела по мнению многих исследователей является одним из основных методов восстановления ходьбы у больных с патологией нервной системы [3, 4]. Обычно для этого используют подвесные системы. В отличие от них принцип антигравитационной дорожки несколько иной. Концепция использования технологии разности давления воздуха для разгрузки веса была разработана докторами Робертом Уаленом и Аланом Харгенсом для астронавтов НАСА. Человек, встающий на тредмилл, охватывается в районе пояса эластичным надувным кольцом, а его ноги при этом оказываются в герметичной камере, в которую компрессор накачивает воздух. Он и выдавливает тело вверх, снижая вес пациента. Этот принцип «плавания» над дорожкой назвали Gravity Differential – дифференциальное давление воздуха (ДДВ). Уровень компенсации веса регулируется от 0 до 80% с шагом 1%.

При этом максимальное давление внутри камеры всего на 10% превышает атмосферное, и тогда бег или ходьба становятся похожи на передвижения в условиях низкой гравитации по Луне. То есть, аппарат способен обеспечить точное уменьшение веса при разной массе тела и потенциально безопасен для испытуемых.

Компания «AlterG» первой предложила реализовать эту технологию в одном аппарате с современной системой регулировки давления и обеспечением эффективной и комфортной тренировки в условиях разгрузки веса тела.

Кроме того, дорожку с системой ДДВ следует рассматривать как промежуточный этап реабилитации – постепенную адаптацию пациентов к полноценной осевой нагрузке через облегченный режим тренировки с поддержкой веса тела в антигравитационных условиях у пациентов с заболеваниями суставов нижних конечностей (артриты, артрозы), у ортопедических пациентов после операций на суставах, после переломов нижних конечностей, у кардиологических пациентов.

В настоящее время изучение эффективности методики при различных заболеваниях продолжается в рамках 40 проспективных клинических исследований. При изучении физиологических реакций организма в ответ на проводимое воздействие отмечено небольшое увеличение систолического артериального давления при отсутствии изменения диастолического артериального давления, небольшое снижение частоты сердечных сокращений [5], увеличение метаболизма и скорости биохимических реакций [6]. Метод безопасен в отношении больных с патологией сердечно-сосудистой системы [7]. Метод уменьшает нагрузку на суставы нижней конечности при восстановлении ходьбы [8] и эффективен в отношении снижения боли при восстановлении функции ходьбы [9]. Изменение скорости и поддержки веса по время ходьбы может быть высокоэффективной стратегией при восстановлении походки [10]. Разрабатываются клинические протоколы для применения метода у больных при стрессовой травме таза [11], после хирургических операций на коленном суставе [12] и на ахилловом сухожилии [13]. В Университете Калифорнии (Сан-Франциско) с 2014 года проводится рандомизированное клиническое испытание, в котором дается оценка функциональных показателей, риска падений, и качества жизни у пациентов, страдающих болезнью Паркинсона и у пациентов с острым и хроническим инсультом. У детей

с церебральным параличом, использующих «AlterG», наблюдается значительное улучшение механики походки [14]. В Американском колледже спортивной медицины разработаны схемы применения «AlterG» в подготовке бегунов [15, 16]

#### Материалы и методы

В течение 2014 года в отделении медицинской реабилитации Национального медико-хирургического центра нами была проведена работа по изучению эффективности включения метода «антигравитационной ходьбы» в программы реабилитации пациентов с различной патологией. В исследовании приняли участие более трехсот пациентов и среди них больных с постинсультными двигательными расстройствами – 52; с последствиями черепно-мозговой травмы – 38; с последствиями спинномозговой травмы – 38; с демиелинизирующими заболеваниями – 14; с болезнью Паркинсона – 34; с радикулопатией – 22; с постламинэктомическим синдромом – 34; с последствиями травматических или воспалительных поражений отдельных нервных стволов нижних конечностей – 18; с нейро-мышечными заболеваниями – 6; пациентов с заболеваниями суставов нижних конечностей (ревматоидный артрит и гонартроз) – 32; после операций на суставах (в основном, эндопротезирование) и переломов нижних конечностей – 54; больных с ишемической болезнью сердца, в том числе после инфаркта миокарда – 28.

Критериями исключения к ходьбе на антигравитационной дорожке явились следующие заболевания и патологические состояния: острые инфекционные заболевания, лихорадка; висцеральная патология в стадии декомпенсации; острый тромбоз, тромбофлебит, лимфодема нижних конечностей 2–3 ст.; неспособность длительно (не менее 30 минут) находиться в вертикальном положении вследствие патологических вегетативных реакций (ортостатическая гипотензия, тахи-, брадикардия и др.); пароксизмальные нарушения сознания; недостаточность кровообращения IIА класса и выше; пароксизмальная форма мерцательной аритмии; приступы стенокардии покоя или ишемия миокарда в покое на ЭКГ; неконтролируемая артериальная гипертензия (АД систолическое более 180, АД диастолическое более 100); клинически значимые пороки сердца; аневризма аорты; аневризмы и мальформации сосудов головного мозга; выраженные когнитивные и речевые нарушения, препятствующие выполнению инструкций, психомоторное возбуждение и агрессивное поведение пациента; несросшиеся переломы или нестабильный остеосинтез позвоночника, костей таза, нижних конечностей; наличие аппаратов внешней фиксации при переломах таза и нижних конечностей; фиксированные контрактуры тазобедренных, коленных и голеностопных суставов, препятствующие реализации функции ходьбы; нарастающая компрессия спинного мозга, его корешков, конского хвоста или их сосудов; пролежни и другие нарушения кожного покрова, препятствующие выполнению процедуры. Мы применяли аппаратный комплекс «AlterG Anti-Gravity Treadmill» производства компании «AlterG Inc.» (США), который соответствует медицинским стандартам IEC (IEC 60601-1-1, IEC 60601-1-2) по технике безопасности при эксплуатации электрических систем и европейским стандартам для медицинских изделий European Council Directive 93/42/EEC и 2007/47/EC. Параметры методики проведения тренировки базируются на нашем опыте включения метода антигравитации в программы комплексной реабилитации пациентов с различной патологией и подробно изложены в соответствующем учебно-

методическом пособии [17]. Основные параметры антигравитационной ходьбы при различных заболеваниях изложены ниже. В раннем восстановительном периоде инсульта при парезе нижней конечности не более 3,0 баллов мы применяем разгрузку веса до 60–80%, при скорости ходьбы 200–400 м/час. Количество занятий на курс 12, при общей продолжительности процедуры 30 минут. В позднем восстановительном периоде инсульта разгрузка веса составляет 60–70 % при скорости 200–700 м/час. При рассеянном склерозе и паркинсонизме разгрузка веса уменьшается до 50–60 % при скорости 200–800 м/час; количество занятий на курс – 12; общее время процедуры 30 минут. При ишемической болезни сердца разгрузка веса может варьировать от 30 % до 70 %, а скорость от 700 до 1500 м/час. Пациенты с моно- и полинейропатиями требуют разгрузки веса до 70 % при скорости ходьбы 1000–2500 м/час; количество занятий на курс 12; время процедуры 30 минут. После эндопротезирования коленного сустава разгрузка веса до 40–60%, скорость ходьбы 1000–2500 м/час. После эндопротезирования тазобедренного сустава разгрузка веса до 50 %, скорость 500–1500 м/час, от 5 до 7 35-ти минутных занятий. При артритах и артрозах суставов нижних конечностей разгрузка веса до 70 %, скорость 1500–3500 м/час; количество занятий на курс – от 8 до 10; время процедуры 35 минут.

#### Результаты и их обсуждение

С учетом данных клинического обследования и шкальных оценок в результате включения метода в программы комплексного лечения была установлена более высокая эффективность восстановления двигательных функций по сравнению со стандартной программой реабилитации у подавляющего числа обследуемых пациентов с соответствующими патологиями. Более чем у 70% больных церебральным инсультом и в половине случаев пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой различие в снижении степени пареза было достоверно значимым между группами с методом антигравитационной ходьбы и контроля. При сравнении индекса повседневной активности постинсультных больных по окончании лечения были выявлены достоверно значимые различия между группами ( $p < 0,05$ ). Так, средний прирост по шкале Бартела у пациентов с применением «метода» составил 22 балла, у пациентов группы контроля – 14 баллов. Мы оценивали Индекс Ходьбы Хаузера после проведения 2-х недельного курса реабилитации спинальных пациентов с включением в программу лечения метода антигравитационной ходьбы. Лучшие результаты были отмечены под влиянием антигравитационной ходьбы, чем в группе контроля, однако без достоверно значимой степени различий. Повторная оценка, проводимая после 4-х недельного курса показала достоверную ( $p < 0,05$ ) значимость изменений индекса Хаузера между группами. Более интересными, на наш взгляд, являются параметры скорости ходьбы у пациентов с гемипарезом. Под влиянием локомоторной тренировки в условиях антигравитации отмечено увеличение скоростных показателей ходьбы (с  $0.34 \pm 0.11$  м/сек до  $0.52 \pm 0.20$  м/сек) у абсолютного большинства (92%) постинсультных пациентов. Средняя скорость больных, перенесших ПСМТ после 2 недельного курса также увеличилась (с  $0.28 \pm 0.08$  м/сек до  $0.44 \pm 0.14$  м/сек). Одним из методов оценки была поверхностная ЭМГ мышц нижних конечностей. Под воздействием метода антигравитационной ходьбы при проведении повторного электромиографического обследования выявлено повышение биоэлектрической активности мышц-антагонистов

и понижение биоэлектрической активности спастичных мышц. В контрольной группе признаки восстановления реципрокного и синергичного взаимодействия между мышцами-антагонистами и синергистами были менее значимы. У пациентов с рассеянным склерозом в 9 случаях двигательная реабилитация производилась после применения «клеточных технологий» (высокодозной иммуносупрессивной терапии с трансплантацией аутологичных стволовых кроветворных клеток). В 6 случаях реабилитация производилась после инъекции ботулинического токсина для коррекции гипертонуса мышц нижних конечностей.

Проведенное исследование показало, что применение антигравитационной ходьбы у больных с поражением ЦНС приводило к достоверному увеличению скорости ходьбы, выносливости и улучшению выполнения функциональных задач. У больных экспериментальной группы к тому же достоверно увеличилась длина шага на стороне пареза, увеличивалась длительность одиночной опоры на паретичную ногу, что способствовало более симметричной походке.

Мы считаем, что тренировки на системе «AlterG» особенно полезны на ранних стадиях восстановления, когда имеют место проблемы с балансом, выраженным парезом, нестабильностью мышечного тонуса.

Очевидное преимущество «антигравитационной ходьбы» в том, что она позволяет безопасно проводить тренировки на субмаксимальном уровне как по объему, так и по интенсивности, а именно, объем и интенсивность нагрузки являются теми критическими параметрами, которые определяют динамику восстановления.

При изучении динамики функционального состояния сердечно-сосудистой системы у 14 пациентов (9 мужчин, 5 женщин, средний возраст 51 год), перенесших инфаркт миокарда, после трехнедельного курса «антигравитационной ходьбы» отмечено улучшение показателей Эхо-КГ (фракции выброса, конечного систолического и диастолического объемов левого желудочка).

На фоне курсового лечения методом антигравитационной ходьбы, при помощи оптических методов компьютерного видеоанализа движений, продемонстрирована положительная динамика формирования правильного стереотипа ходьбы и ритма шага, оптимального в новых условиях, у пациентов с патологией суставов нижних конечностей. Оценивались ведущие показатели угловой и линейной кинематики локомоций – скорость, ускорение, текущие значения суставных углов в структуре двойного шагового цикла. Исследования проводились с использованием компьютерного комплекса «Видеоанализ движений» (НМФ «Статокин», Россия). Получены оптимальные в отношении скорости передвижения паттерны движения нижних конечностей в тазобедренном, коленном и голеностопном суставах, а также роль компенсаторной подвижности таза во фронтальной плоскости.

#### Заключение

Антигравитационные системы начинают занимать определенное место в реабилитации больных с тяжелыми двигательными нарушениями различной этиологии, однако, по-видимому, требуются еще дальнейшие исследования как по изучению эффектов, так и по разработке методик использования при различных заболеваниях.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ:

1. Иванова Г.Е. Медицинская реабилитация в России. Перспективы развития. // Вестник восстановительной медицины. – 2013. – № 5. – С. 3–8.
2. Даминов В.Д. Роботизированная локомоторная терапия в нейрореабилитации // Вестник восстановительной медицины. – 2012. – №1. – С. 57–62.
3. Mehrholz J1, Elsner B, Werner C, Kugler J, Pohl M.: Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2013 Jul 25; 7: CD006185. doi: 10.1002/14651858.CD006185.pub3.
4. Schwartz I1, Meiner Z.: Robotic-assisted gait training in neurological patients: who may benefit? *Ann Biomed Eng.* 2015 May; 43 (5): 1260-9. doi: 10.1007/s10439-015-1283-x. Epub 2015 Feb 28.
5. Evans J, Shapiro R, Moore F.: Segmental Volume and Cardiovascular Responses to Changes in Body Position at Rest and During Walking Under Normal and Reduced Weight Conditions. *Gravitational Physiology*, 2011.
6. Grabowski A.: Metabolic and Biomechanical Effects of Velocity and Weight Support Using a Lower Body Positive Pressure Device During Walking. *International Journal of Applied Science and Technology Vol. 2 No. 7; August 2012.*
7. Cutuk A.A., Groppo E.R., Quigley E.J., White K.W., Pedowitz R.A., Hargens A.R.: Ambulation in Simulated Fractional Gravity Using Lower Body Positive Pressure: Cardiovascular Safety and Gait Analyses. *J Appl Physiol* 101: 771-777, 2006.
8. Grabowski Alena and Kram: Effects of Velocity and Weight Support on Ground Reaction Forces and Metabolic Power During Running. *J Appl Biomech* 24: 288–297, 2008.
9. Burgar C.G., Schwandt D., Anderson J., Whalen R., Breit G.: Differential Walking Assist: an inflatable walking support. *Rehabilitation R&D Center Progress Report*, 1994.
10. Hoffman M.D., Donaghe H.E.: Exercise responses during partial body-weight supported treadmill walking and running in healthy individuals. *Arch Phys Med & Rehab*, 2011.
11. Tenforde AS, Watanabe LM, Moreno TJ, Fredericson M: Use of an Antigravity Treadmill for Rehabilitation of a Pelvic Stress Injury. *PM&R* 2012 (4) 629–631.
12. Wilk K.E., Macrina L.C., Cain L., Dugas J.R., Andrews J.R.: Recent Advances in the Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Injuries. *JOSPT* 42(3):153–171, 2012.
13. Saxena A., Granot A.: Use of an Anti-Gravity Treadmill in the Rehabilitation of the Operated Achilles Tendon: *Developmental Neurorehabilitation*, 2011; 14 (2): 87–93.
14. Kurz MJ, Wilson TW, Corr B, Volkman KG (2012). Body weight supported treadmill training influences the neuromagnetic activity of the somatosensory cortices in children with cerebral palsy. *Journal of Neurologic Physical Therapy*.
15. Gojanovic B, Cutti P, Shultz R, Matheson GO: Maximal physiologic parameters during partial body-weight support treadmill testing. *Med Sci Sports Exerc* 2012 Apr 24.
16. Mercer JA, Applequist B, Masumoto K: Muscle Activity During Running With Different Body Weight Support Mechanisms. *Med Sci Sports Exerc* 2012 (44:5) S572.
17. В.Д. Даминов, И.Г. Горохова, О.А. Уварова, А.В. Карташов, П.В. Ткаченко: Антигравитационные технологии восстановления ходьбы в клинической нейрореабилитации. Москва, 2014 года.

#### REFERENCES:

1. Ivanova G.E.: Medical rehabilitation in Russia. Development prospects. *Magazine of rehabilitation medicine.* – 2013. – № 5. – С. 3–8.
2. Daminov V.D.: The robotic locomotion therapy in neurorehabilitation. *Magazine of rehabilitation medicine.* – 2012. – №1. – С. 57–62.
3. Mehrholz J1, Elsner B, Werner C, Kugler J, Pohl M.: Electromechanical-assisted training for walking after stroke. *Cochrane Database Syst Rev.* 2013 Jul 25; 7: CD006185. doi: 10.1002/14651858.CD006185.pub3.
4. Schwartz I1, Meiner Z.: Robotic-assisted gait training in neurological patients: who may benefit? *Ann Biomed Eng.* 2015 May; 43 (5): 1260–9. doi: 10.1007/s10439-015-1283-x. Epub 2015 Feb 28.
5. Evans J, Shapiro R, Moore F.: Segmental Volume and Cardiovascular Responses to Changes in Body Position at Rest and During Walking Under Normal and Reduced Weight Conditions. *Gravitational Physiology*, 2011

6. Grabowski A.: Metabolic and Biomechanical Effects of Velocity and Weight Support Using a Lower Body Positive Pressure Device During Walking. *International Journal of Applied Science and Technology* Vol. 2 No. 7; August 2012.
7. Cutuk A.A., Groppo E.R., Quigley E.J., White K.W., Pedowitz R.A., Hargens A.R.: Ambulation in Simulated Fractional Gravity Using Lower Body Positive Pressure: Cardiovascular Safety and Gait Analyses. *J Appl Physiol* 101: 771–777, 2006.
8. Grabowski Alena and Kram: Effects of Velocity and Weight Support on Ground Reaction Forces and Metabolic Power During Running. *J Appl Biomech* 24: 288–297, 2008.
9. Burgar C.G., Schwandt D., Anderson J., Whalen R., Breit G.: Differential Walking Assist: an inflatable walking support. *Rehabilitation R&D Center Progress Report*, 1994.
10. Hoffman M.D., Donaghe H.E.: Exercise responses during partial body-weight supported treadmill walking and running in healthy individuals. *Arch Phys Med & Rehab*, 2011.
11. Tenforde AS, Watanabe, LM, Moreno TJ, Fredericson, M: Use of an Antigravity Treadmill for Rehabilitation of a Pelvic Stress Injury. *PM&R* 2012 (4) 629–631.
12. Wilk K.E., Macrina L.C., Cain L., Dugas J.R., Andrews J.R.: Recent Advances in the Rehabilitation of Anterior Cruciate Ligament Injuries. *JOSPT* 42 (3): 153–171, 2012.
13. Saxena A., Granot A.: Use of an Anti-Gravity Treadmill in the Rehabilitation of the Operated Achilles Tendon: *Developmental Neurorehabilitation*, 2011; 14 (2): 87–93.
14. Kurz MJ, Wilson TW, Corr B, Volkman KG (2012). Body weight supported treadmill training influences the neuromagnetic activity of the somatosensory cortices in children with cerebral palsy. *Journal of Neurologic Physical Therapy*.
15. Gojanovic B, Cutti P, Shultz R, Matheson GO: Maximal physiologic parameters during partial body-weight support treadmill testing. *Med Sci Sports Exerc* 2012 Apr 24.
16. Mercer JA, Applequist B, Masumoto K: Muscle Activity During Running With Different Body Weight Support Mechanisms. *Med Sci Sports Exerc* 2012 (44:5) S572
17. Daminov V.D., Gorokhova I.G., Uvarova O.A., Kartashov A.V., Tkachenko P.V.: Anti-Gravity technologies for walking recovery in clinical neurorehabilitation. Moscow, 2014.

## РЕЗЮМЕ

Антигравитационные системы начинают занимать определенное место в реабилитации больных с тяжелыми двигательными нарушениями различной этиологии, однако, по-видимому, требуются еще дальнейшие исследования как по изучению эффектов, так и по разработке методик использования при различных заболеваниях.

В данной работе наряду с обзором научно-медицинских публикаций последних лет, посвященных применению антигравитационной ходьбы, представлен наш опыт включения метода в комплексную реабилитацию пациентов, находившихся на лечении в клинике неврологии и нейрохирургии Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова.

С учетом литературных данных и результатов клинического обследования более 300 пациентов показано, что включение «антигравитационной ходьбы» в программы комплексной реабилитации повышает эффективность традиционного лечения пациентов с различными заболеваниями (последствия инсульта и черепно-мозговой травмы; последствия спинномозговой травмы; болезнь Паркинсона; радикулопатия; постламинэктомический синдром; последствия травматических или воспалительных поражений отдельных нервных стволов нижних конечностей; нейро-мышечные заболевания; заболевания суставов нижних конечностей; после операций на суставах и переломов нижних конечностей; ишемическая болезнь сердца).

С учетом данных клинического обследования и шкальных оценок в результате включения метода в программы комплексного лечения была установлена более высокая эффективность восстановления двигательных функций по сравнению со стандартной программой реабилитации у подавляющего числа обследуемых пациентов с соответствующими патологиями. Более чем у 70% больных церебральным инсультом и в половине случаев пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой различие в снижении степени пареза было достоверно значимым между группами с методом антигравитационной ходьбы и контроля.

**Ключевые слова:** антигравитационная ходьба, церебральный инсульт, рассеянный склероз, разгрузка веса тела, реабилитация, травма спинного мозга, эндопротезирование, артроз, артрит, ишемическая болезнь сердца.

## ABSTRACT

Antigravity systems begin to occupy a certain place in the rehabilitation of patients with severe movement disorders of various etiologies, however, apparently still requires further research as to study the effects and methods for use in the development of various diseases.

Reviewing last scientific and clinical publications and taking in account our experience, we introduce our experience of using antigravity walking in complex rehabilitation of the patients who were treated in Neurology and Neurosurgery Clinic of the National Medical Surgery Center named by N.I. Pirogov. Clinical examination of more than 300 patients was showed that inclusion of "antigravity walk" in the complex rehabilitation program improves the efficiency of conventional treatment of patients with various diseases (consequences of stroke and traumatic brain injury, the effects of a spinal injury, Parkinson's disease, radiculopathy; syndrome after laminectomy, the effects of traumatic or inflammatory lesions of individual nerve trunks of the lower extremities; neuro-muscular diseases, diseases of the joints of the lower extremities after operations on the joints and fractures of the lower limbs, coronary heart disease).

Taking into account the data of the clinical examination and scaling estimates as a result of the inclusion of the method in complex treatment program was set higher efficiency of recovery of motor functions compared to the standard program of rehabilitation of the vast number of patients tested with related pathologies. More than 70% of patients with cerebral stroke and half the patients with spinal cord injury a difference in reducing the degree of paresis was fairly significant between groups by antigravity distance and control.

**Keywords:** antigravity walking, cerebral stroke, multiple sclerosis, unloading body weight, rehabilitation, spinal cord injury, arthroplasty, arthrosis, arthritis, coronary heart disease.

### Контакты:

**Даминов Вадим Дамирович.** E-mail: daminov07@mail.ru