

Билык В.М., Орлов С.А., Зубик Г.В., Ахматов В.Н.

**ИЗМЕНЕНИЯ ВЫСОТЫ МЕДИАЛЬНОГО
ПРОДОЛЬНОГО СВОДА СТОПЫ ПРИ НАГРУЗКЕ**

ФГБОУ ВО «Тюменский государственный медицинский университет» Минздрава России,
г. Тюмень, Российская Федерация

Аннотация. Изменения анатомо-биомеханических свойств стопы под влиянием функциональной нагрузки определяют её адаптационные возможности и оказывают значительное влияние на биомеханику движения. В исследовании приняли участие 150 юношей. Параметры свода стопы оценивались с помощью светооптической компьютерной плантографии «ПКС-01». Изучались показатели трёх плантографических индексов: индекса Чижсина, Штритера и Чиппо-Смирака. Статистическая обработка проводилась с использованием пакета SPSS 26.0, применялись критерии Манна-Уитни, Уилкоксона и корреляционный анализ Спирмена. Полученные данные свидетельствуют о различной адаптационной способности толчковой и не толчковой ноги к физической нагрузке, что важно учитывать при профилактике нарушений опорно-двигательного аппарата.

Ключевые слова: стопа, плантография, нагрузка, толчковая нога, не толчковая нога.

Bilyk V.M., Orlov S.A., Zubik G.V., Achmatov V.N.

**CHANGES IN THE HEIGHT OF THE MEDIAL LONGITUDINAL ARCH
OF THE FOOT UNDER LOAD**

Resume: Changes in the anatomical and biomechanical properties of the foot under the influence of functional load determine its adaptive capabilities and have a significant impact on the biomechanics of movement 150 young men participated in the study. Arch parameters were evaluated using optical computer plantography "PKS-01". The indicators of three plantographic indexes were studied: the Chizhin, Streeter and Chippo-Smirak indexes. Statistical processing was carried out using the SPSS 26.0 package, using the Mann-Whitney, Wilcoxon criteria and Spearman correlation analysis. The data obtained indicate a different adaptive capacity of push and non-push.

Keywords: foot, plantography, load, push leg, non-push leg.

Актуальность. Ходьба представляет собой циклическую и устойчивую форму локомоции, в которой задействован весь опорно-двигательный аппарат (ОДА) человека [1]. Ключевую роль в этом процессе играет стопа — конечный элемент нижней кинетической цепи, обеспечивающий сопротивление внешней нагрузке и, тем самым, выступающий важнейшим компонентом биомеханики ходьбы [2]. Анатомические и биомеханические особенности стопы, её способность изменять форму и амортизационные свойства в ответ на механическую нагрузку делают её актуальным объектом научных исследований [3]. Эффективное распределение нагрузок — таких как сжатие, растяжение и амортизация — критически важно для сохранения здоровья нижней конечности. В процессе эволюции стопа приобрела форму, обеспечивающую равномерное распределение нагрузки во время движения. Функционально стопа выполняет четыре основные биомеханические задачи: опорную, рессорную, балансировочную и толчковую. Благодаря своей

структуре она действует как рессора, смягчающая удары и поддерживающая вес тела [4].

Ударные нагрузки перераспределяются на вышележащие структуры ОДА, обеспечивая амортизацию при ходьбе и беге, а также стабильность нижней конечности [5]. Нарушения амортизирующие-защитных механизмов стопы, в том числе снижение высоты медиального продольного свода, могут снижать её функциональные возможности. Это приводит к анатомо-физиологическим изменениям и нарушению распределения нагрузки на структурные элементы стопы, что негативно сказывается на биомеханике ходьбы. В современной научной литературе сравнительно мало данных о том, как изменяется сводчатая структура стопы при различных функциональных нагрузках. Исследование динамики этих изменений позволяет оценить адаптационный потенциал стопы к физическим воздействиям и имеет важное значение для профилактики и коррекции нарушений ОДА.

Цель исследования. Изучить изменения высоты медиального продольного свода стопы под влиянием нагрузок разной величины у юношей 18-19 лет проживающих в Тюменском регионе.

Материалы и методы исследования. В лаборатории медицинской антропологии на базе ФГБОУ ВО Тюменский ГМУ Минздрава России обследовано 150 юношей в возрастной группе 18-19 лет. Все обследованные имели здоровую стопу и не находились на учете у ортопеда. Исследование свода стопы проводились на аппарате светооптической компьютерной плантографии «ПКС-01» (Россия). Исследование проводилось поэтапно. Обследуемый встает опорной подошвенной поверхностью обеих стоп на опорное стекло аппарата, масса тела распределена на стопы равномерно, производился снимок, затем в той же последовательности производились снимки с нагрузкой на толчковую и не толчковую ногу. В последующем, производилась обработка полученных снимков с четкими, контрастными элементами и последующая оценка плантограмм в соответствии с компьютерным программным обеспечением. Для более точного изучения морфологии свода стопы оценивались 3 плантографических индекса.

Индекс Чижина (ИЧ) - проводится касательная АВ к наиболее выступающим точкам стопы с внутреннего края. Через середину пятки к основанию 2 пальца проводят линию СД. На отрезке СД находят середину, через которую восстанавливается перпендикуляр ЕF до пересечения с касательной АВ в точке «в» и с наружным краем отпечатка в точке «а» и внутренним краем отпечатка в точке «б». Измеряются отрезки аб и бв. Индекс рассчитывается по формуле: ИЧ = аб / бв. Индекс Штритера (ИШ) - К наиболее выступающим точкам внутренней части отпечатка проводится касательная линия (АБ). Находится середина отрезка АБ. Из середины отрезка АБ возводится перпендикуляр (ВД) до пересечения с наружным краем отпечатка. Отмечаются точки Г — в месте пересечения перпендикуляра с внутренней частью отпечатка стопы и Д — в месте пересечения перпендикуляра с наружной частью отпечатка стопы. Измеряются отрезки ГД и ВД. Индекс

рассчитывается по формуле: $I = ГД \times 100 / ВД$. Индекс Чиппо-Смирака (CSI) — это отношение минимального плюсневого расстояния к максимальному расстоянию переднего отдела стопы.

Классификация результатов основывалась на следующих стандартах: Индекс Чижины: ИЧ 0,0– 1 – норма; ИЧ 1,1 – 2 – уплощенная стопа; ИЧ 2,1 и более – стопа плоская. Индекс Штритера: ИШ от 0 до 36 - высоко сводчатая стопа; ИШ от 36,1 до 43 - повышенный свод; ИШ от 43,1 до 50 % - нормальный свод; ИШ от 50,1 до 60% -уплощение свода; ИШ от 60,1 до 70% - плоскостопие. Индекс Чиппо-Смирака: CSI <0,25 - полая стопа; CSI 0,25-0,45 - норма; CSI> 0,45 — плоскостопие. Статистический анализ проводился с использованием программных пакетов: «SPSS Statistics 26.0». Для опровержения гипотезы о нормальности распределения исследуемых параметров использовался критерий Колмогорова-Смирнова. Для оценки значимости использовались показатель среднего ($M \pm \sigma$), для оценки значимости различий исследуемых параметров непараметрический U-критерий Манна-Уитни для двух независимых выборок, а также Т-критерий знаковых рангов Уилкоксона для двух зависимых выборок. Для статистического изучения взаимосвязи между явлениями - критерий ранговой корреляции Спирмена. Интерпретация результатов корреляционного анализа осуществлялся в соответствии со шкалой Чеддока. Уровень значимости считался достоверным при $p \leq 0,01$ и $p < 0,001$.

Результаты. По результатам плантографического исследования толчковая нога изначально имела более высокий плантографический показатель ($p < 0,01$). Это подтверждают 3 основных плантографических индекса: среднее значение ИЧ толчковой правой ноги = $0,82 \pm 0,04$, в то время как среднее значение ИЧ не толчковой левой ноги не превышает $0,74 \pm 0,04$, ИШ толчковой ноги = $44,57 \pm 1,59$, не толчковой = $41,72 \pm 1,75$. Средние значение CSI = $0,15 \pm 0,01$ и $0,12 \pm 0,02$ для не толчковой соответственно. Это свидетельствует о том, что толчковая нога изначально является более адаптированной к действиям физических нагрузок, приходящихся на опорно-двигательный аппарат человека. При статистическом анализе результатов плантографии стоя без функциональной нагрузки наблюдались значимые межгрупповые различия между основными плантографическими показателями толчковой правой и не толчковой левой ногой. U - критерий Манна-Уитни посчитан для каждого индекса и не превышает критического значения при $p < 0,001$.

По результатам светооптической компьютерной плантографии с функциональной нагрузкой на толчковую и не толчковую ногу были определены следующие закономерности. Не толчковая нога, не являясь изначально более адаптированной и приспособленной к действию различных физических нагрузок, значительно изменялась в соотношении с плантографическими показателями толчковой ноги. Это также подтверждается основными плантографическими индексами: среднее значение ИЧ не толчковой ноги = $1,14 \pm 0,09$, в то время как среднее значение ИЧ толчковой

ноги не превышало $1,01 \pm 0,02$; ИШ = $51,78 \pm 0,52$ и $49,45 \pm 1,2$; CSI = $0,3 \pm 0,03$ и $0,19 \pm 0,02$. Статистический анализ результатов светооптической компьютерной плантографии с функциональной нагрузкой на не толчковую ногу показал, что наблюдаются значимые различия между плантографическими показателями в положении стоя без нагрузки и стоя с применением функциональной нагрузки. Все основные плантографические показатели увеличились, Т - критерий Уилкоксона посчитан для каждого индекса и не превышает критического значения при $p < 0,01$.

Корреляционный анализ по данным плантографии без функциональной нагрузки стоя показал, что значения индексов Чижина, Штритера, Чиппо-Смирака находятся в весьма тесной прямой взаимосвязи, критерий ранговой Корреляции Спирмена равен 0,9 при $p < 0,001$.

При статистическом анализе корреляционной связи между плантографическими показателями при исследовании с функциональной нагрузкой были выявлены следующие закономерности. Значения основных плантографических показателей также находятся в весьма тесной взаимосвязи, критерий ранговой корреляции равен 0,89 при $p < 0,001$.

Выводы. В процессе исследования нами были выявлены особенности изменения высоты медиального продольного свода стопы при воздействии нагрузки ($p < 0,01$). Толчковая нижняя конечность более адаптирована к действиям функциональной нагрузки и подвергается меньшим изменениям при функциональных нагрузках. При анализе данных, полученных в ходе анализа плантографических снимков 3 основными индексами, наблюдались статистически значимые различия между показателями толчковой правой и не толчковой левой конечностями ($p < 0,01$).

Нами была выявлена статистически значимая прямая тесная связь между основными плантографическими показателями толчковой правой и не толчковой левой конечности при измерении стоя без функциональной нагрузки.

При анализе данных плантографии с функциональной нагрузкой на толчковую и не толчковую было установлено, что не толчковая конечность подвергалась большим изменениям в соотношении с толчковой ногой ($p < 0,01$). В ходе исследования нами наблюдались значимые статистические различия между группами в положении стоя без нагрузки и стоя с применением функциональной нагрузки ($p < 0,01$).

В то же время, хотим отметить, что для правильного формирования свода стопы нужна постоянная механическая стимуляция сухожилий, связок и мышц стопы. Без нагрузки стопы претерпевают функциональные изменения, своды, прежде всего, продольные снижаются, что и обуславливает плоскостопие. Кроме того, функциональная нагрузка необходима для укрепления голеностопного сустава, предотвращая ряд локомотивных осложнений со стороны опорно-двигательного аппарата.

Литература

1. Скворцов, Д. В. Клинический анализ движений. Анализ походки : монография / Д. В. Скворцов. – Иваново: «Стимул», 1996. – 344 с.
2. Зубик, Г. В. Взаимозависимость биомеханики ходьбы и морфологии стопы у человека / Г. В. Зубик // Университетская медицина Урала. – 2024. – Т. 10, № 2(36). – С. 73-75. – EDN FCIGHB.
3. Плантографический анализ сводчатого строения стопы методом В. А. Штритера / С. А. Орлов, Г. В. Зубик, А. А. Ткачук, Д. Р. Джураев // Университетская медицина Урала. – 2024. – Т. 10, № 2(36). – С. 22-25. – EDN QVOXHL.
4. Donatelli, R. A. Abnormal biomechanics of the foot and ankle / R. A. Donatelli // J Orthop Sports Phys Ther. – 1987 – №9(1) – Р. 11. – doi: 10.2519/jospt.1987.9.1.11. PMID: 18794588.
5. Овчинников, В. И. Оценка объема движения голеностопного сустава у студентов 2-3-х курсов / В. И. Овчинников // Вестник МГПУ. Серия: Естественные науки. – 2022. – №2 (46).