

**БОРОДИНЕЦ Надежда Михайловна**  
**КУРБАЦКИЙ Андрей Петрович**  
**ШИНДЕР Максим Владимирович**

*Белорусский государственный университет физической культуры,  
Минск, Республика Беларусь*

## **ДИАГНОСТИКА ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА НА ОСНОВЕ МЕТОДА АНАЛИТИЧЕСКОГО ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ПОЗЫ**

Данная статья посвящена методологии диагностики опорно-двигательного аппарата человека с позиций выявления асимметрии. Асимметрия рассматривается как следствие дисбаланса мышечных напряжений. В статье анализируются современные подходы к проблеме. Предложена методика экспресс-диагностики указанных состояний на основе аналитического определения позы человека.

**Ключевые слова:** асимметрия опорно-двигательного аппарата; пространственная запись позы тела; аналитическая матрица; фотосъемка; биомеханический анализ.

## **DIAGNOSTICS OF THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM BASED ON THE METHOD OF ANALYTICAL ESTIMATION OF SPATIAL HUMAN POSE**

This article is devoted to the methodology for diagnosing the human musculoskeletal system from the standpoint of asymmetry detection. Asymmetry is viewed as a result of a muscle tension imbalance. The article analyzes modern approaches to the problem. A method for express diagnostics of the above stated conditions is proposed based on human pose estimation and analysis.

**Keywords:** asymmetry of the musculoskeletal system; spatial recording of body pose; analytical matrix; photography; biomechanical analysis.

**Введение.** Тело человека представляет собой сложную механическую систему, состоящую из ряда звеньев. Они соединяются с помощью суставов в биокинематические цепи. Любые двигательные действия (ДД) требуют сложной координации мышечных напряжений, обеспечивающих как движения в суставах, так и их фиксацию.

Двигательные действия человека, согласно подходу, предложенному в работах В.Т. Назарова [5] и Н.Б. Сотского [6], могут быть представлены в виде сочетания ограничений подвижности в одних сочленениях (элементы осанки) и целенаправленных движений в других (управляющие движения). При анализе ДД должны рассматриваться все возможные анатомические движения в каждом суставе. В биомеханике рассматриваются три основных типа: циркумдукция, сгибательно-разгибательные и ротация. Каждое из этих движений обеспечивается

соответствующими мышечными группами. При нарушении координации мышечных напряжений образуется асимметрия опорно-двигательного аппарата, которая проявляется в различного рода перекосах.

Диагностика опорно-двигательного аппарата с целью установления асимметрии осуществляется на основе различных методик, определяющих пространственное положение тела по эталонной позе. Здесь используют оборудование статического и динамического анализа тела человека, а также комплексы компьютерной диагностики, включающие в себя многофункциональные полидинамометрические устройства.

Все это должно осуществляться в специальных лабораторных условиях высококвалифицированными специалистами, владеющими знаниями из самых различных разделов науки. В тоже время часто требуется осуществить доступную и недорогую экспресс-диагностику осанки, чтобы быстро принять решение

о целенаправленной коррекции. Данная статья посвящена актуальным вопросам разработки методики экспресс-диагностики опорно-двигательного аппарата, с последующей организацией работы по их исправлению.

Целью настоящего исследования является адаптация методики оперативного тестирования осанки человека на основе использования аналитической матричной формы записи позы тела человека.

Задачей исследования является построение методики измерения основных пространственных суставных углов, определяющих позу человека, и наглядное представление полученных результатов в матричной форме;

Методы исследования: трехмерная фотосъемка в высоком разрешении, гониометрия суставных движений, анализ позы.

**Основная часть.** Под осанкой понимается привычная конфигурация суставных углов при вертикальной позе тела человека, при которой сохранение равновесия как в покое, так и в движении обеспечивается минимальными мышечными напряжениями.

Осанка считается правильной, когда звенья тела взаимно располагаются так, что не стесняют функционирование внутренних органов и обеспечивают необходимую свободу движения. Асимметрия напрямую влияет на функции нервов и кровеносных сосудов, а значит на работоспособность каждого органа [1].

С позиции биомеханики правильная осанка – это поза тела, при которой расположение одноименных суставов в костно-мышечной системе человека, находится на одной горизонтали. Гравитационная нагрузка при этом распределяется равномерно, и суставы функционируют с максимальной эффективностью [7]. Именно правильная осанка является основой здоровья и красивой фигуры.

С точки зрения физиологии, осанка представляет собой систему определенных

двигательных навыков и рефлексов, обеспечивающих сохранение баланса тела в пространстве как в статике, так и в динамике [4].

Скелетные мышцы тела расположены симметрично с двух сторон позвоночника и действуют аналогично канатам, поддерживающим мачту парусного корабля [3]. Когда правильная осанка нарушена, скелетно-мышечная система работает на удержание вертикального положения тела при чрезмерном напряжении одной из сторон. Это приводит к дисбалансу опорно-двигательного аппарата и повышенной нагрузке на суставы, которые отвечают за поддержание равновесия двигательной системы. Любая асимметрия опорно-двигательного аппарата – это результат дисбаланса между сокращением, статическим напряжением и растяжением мышц [9]. Чаще всего она возникает при неблагоприятных условиях, которые приводят к нарушению осанки. Это, например, нахождение в неудобной позе длительное время или переноска тяжестей доминирующей рукой [2].

При нарушении баланса костно-мышечной системы человек теряет способность эргономично правильно производить движения. Неправильный двигательный стереотип приводит к тому, что мышцы, отвечающие за главные управляющие движения в работе, используются нерационально. В этом случае организм, выполняя двигательную задачу, включает в работу мышцы, которые не предназначены для этой нагрузки и искажают двигательную структуру выполняемого действия. Долгосрочные последствия подобной адаптации приводят к дисбалансу костно-мышечной системы и перекоосу опорно-двигательного аппарата. Поэтому в дальнейшем двигательная функция формирует нерациональную статическую форму тела. Причинно-следственные связи, которые привели к этому состоянию, можно определить по взаимному расположению звеньев тела

в позе основной стойки. Это позволит установить, какие мышечные группы за это ответственны.

С развитием технологий в XXI веке появились различные оборудования, позволяющие оценить состояние опорно-двигательного аппарата не только по геометрии осанки, но и по функциональному состоянию мышечных групп, которые отвечают за равновесие. К таким устройствам относятся:

- стабилметрические платформы, позволяющие быстро и точно диагностировать отклонения ОЦГ от эталонного положения (например, для позы основной стойки);

- комплекс компьютерной диагностики DIERS 4Dmotion®Lab – система безлучевой 3D-диагностики осанки и походки, позволяющая оценить мельчайшие отклонения в положении позвоночника, таза и стоп, и реконструкцией позвоночника в 3D-режиме;

- DIERS myoline – компьютерная система для измерения мышечной активности.

Вся эта современная диагностическая техника дает возможность получить обширную информацию о поструральном контроле, координации движений, силовых и биомеханических параметрах (длина шага, скорость, амплитуда движений), но требует для работы с этими системами высококвалифицированных специалистов и помещения с достаточным для установки оборудования местом.

С точки зрения анатомии и официальной медицины, геометрическое описание асимметрии опорно-двигательного аппарата вызывает определенные сложности. Присутствие такой терминологии, как: флексия (сгибание), экстензия (разгибание), латерофлексия (боковой наклон), осевая ротация, медиальное вращение и латеральное вращение, супинация и пронация, абдукция (движение в сторону от исходной оси), аддукция (приближение к исходной оси), усложняет диагностический процесс.

Например, описание одной из асимметрии опорно-двигательного аппарата может выглядеть так: ярко выраженная флексия в пояснично-крестцовом отделе позвоночника, которая сопровождается осевой ротацией в пояснично-грудном и латерофлексией в пояснично-грудном и шейно-грудном отделах. Наблюдается пронация плечевого сустава, сильное осевое вращение бедра. Незначительное отведение стопы (абдукция) (рисунок 1).

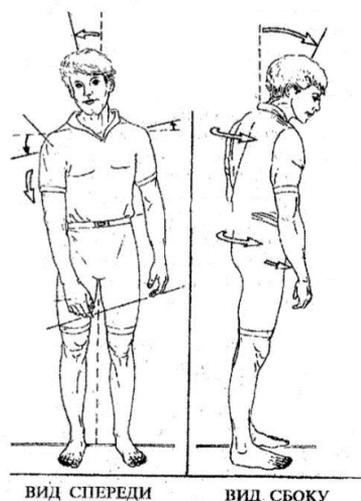


Рисунок 1. – Асимметричная осанка [8]

Поэтому возможность упростить процесс диагностики опорно-двигательного аппарата является достаточно своевременной и необходимой.

С позиции биомеханики тело человека может быть представлено в виде модели, состоящей из твердых звеньев, соединенных суставами в биокинематические цепи (рисунок 2).

Каждое суставное движение обеспечивается разветвленной сетью взаимосвязанных миофасциальных цепей, проходящих от головы, до кончиков пальцев рук и ног.

Целенаправленное сокращение мышц может привести к одновременному изменению суставных углов, относящихся к различным анатомическим типам движения. Например, при отведении руки в плечевом

суставе она может быть повернута ладонью вверх. Что соответствует одновременному изменению двух углов: отведения и ротации. При диагностике осанки такая ситуация представляет определенную сложность, что затрудняет определение имеющейся двигательной дисфункции.

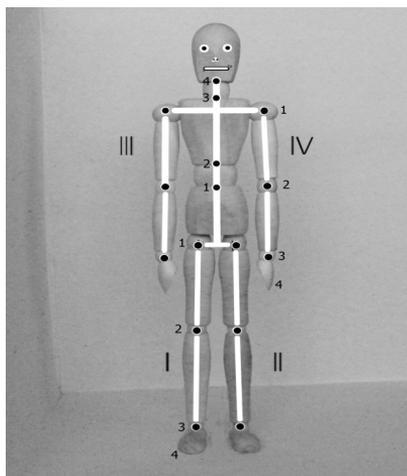


Рисунок 2. – Модель тела человека, используемая в исследовании

В соответствии с подходом, предложенным биомеханиками В.Т. Назаровым [5] и Н.Б. Сотским [6], взаимное расположение звеньев тела человека в пространстве представляется позой. При этом она определяется заданием пространственных суставных углов, вносимых в специальную 3D-матричную форму представляющую собой таблицу, каждая строка которой соответствует определенной биокинематической цепи, а каждый столбец – суставам на этих цепях. Каждая ячейка содержит три угла, соответствующих анатомическим движениям (таблица 1).

Согласно подходам, применяемым в современной биомеханике, суставные движения представляются тремя типами. Это движения: циркумдукция, сгибательно-разгибательные и ротации (рисунок 3). Следует заметить, что к сгибательно-разгибательным движениям здесь относятся сгибание-разгибание, приведение-отведение

и промежуточные действия. При этом угол циркумдукции определяет направление движений сгибательно-разгибательного типа.

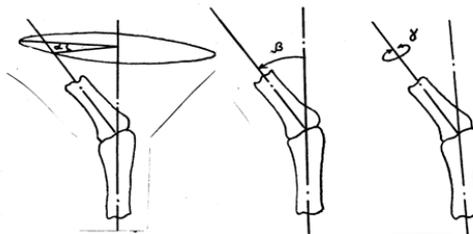


Рисунок 3. – Типы суставных движений

При определении суставных углов следует придерживаться определенных правил [6]:

1. В положении основной стойки все суставные углы во всех суставах условно принимаются равными нулю.

2. Определение суставных углов для конечностей следует начинать соответственно с тазобедренных и плечевых суставов, последовательно переходя к дистально расположенным сочленениям. В суставах позвоночника определение углов начинают с пояснично-крестцового сочленения, также последовательно переходя к дистально расположенным сочленениям.

3. Суставной угол, образовавшийся в результате движения типа 1 (циркумдукция), равен конусообразному повороту продольной оси исследуемого звена вокруг продольной оси связанного с ним проксимального звена. Конусообразный поворот исследуемого звена против часовой стрелки, если смотреть из конца продольной оси проксимального звена, считается положительным.

4. Суставной угол, образовавшийся в результате сгибательно-разгибательных суставных движений (тип 2), измеряется как угол между продольными осями звеньев, сочлененными в суставе. Так, суставной угол для рассматриваемых движений в случае плоских движений считается

Таблица 1. – Пример 3D-матрицы

Биокинематические цепи	Номера суставов в биокинематической цепи:											
	I. Правая нога	1. Тазобедренный сустав			2. Коленный сустав			3. Голеностопный сустав			4. Суставы пальцев	
$\alpha$		$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
II. Левая нога	1. Тазобедренный сустав			2. Коленный сустав			3. Голеностопный сустав			4. Суставы пальцев		
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
III. Правая рука	1. Плечевой сустав			2. Локтевой сустав			3. Лучезапястный сустав			4. Суставы пальцев		
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
IV. Левая рука	1. Плечевой сустав			2. Локтевой сустав			3. Лучезапястный сустав			4. Суставы пальцев		
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$
V. Позвоночник	1. Пояснично-крестцовое сочленение			2. Пояснично-грудное сочленение			3. Шейно-грудное сочленение			4. Атлантозатылочный сустав		
	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$

**Типы суставных движений:**  $\alpha$  – циркумдукция;  $\beta$  – сгибание-разгибание, отведение-приведение;  $\gamma$  – ротация.



Рисунок 4. – De-Lux

положительным, когда отклонение звена в суставе происходит против часовой стрелки.

5. Суставной угол, образовавшийся в результате ротационных суставных движений типа 3, равен углу поворота исследуемого звена вокруг собственной

продольной оси. Знак данного суставного угла определяется при рассмотрении этого движения из конца указанной оси звена. При этом, если вращение происходит против часовой стрелки, оно считается положительным.

В ходе диагностики осанки использовалось сравнение позы испытуемого с эталоном, описанным Питом Эгоскью [8].

Пример эталонной осанки во фронтальной плоскости представлен на рисунке 4. При эталонной

Таблица 2. – Матричная запись эталонной позы

0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–	–
0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–	–
0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–	–
0	0	0	0	0	0	0	0	0	–	–	–
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Таблица 3. – Матричная запись перекоса 1-й степени

0	0	-45	0	0	0	0	0	0	-	-	-
0	0	45	0	0	0	0	0	0	-	-	-
0	5	45	0	0	0	0	0	0	-	-	-
0	-4	-45	0	0	0	0	0	0	-	-	-
180	10	0	0	5	0	0	0	0	0	7	0

Таблица 4. – Матричная запись перекоса 2-й степени

180	9	-45	0	0	0	0	5	0	-	-	-
180	10	0	0	0	0	0	5	0	-	-	-
0	16	45	0	0	0	0	0	0	-	-	-
0	0	0	0	-4,8	0	0	0	0	-	-	-
180	5	0	0	30	20	-90	7	-10	0	0	0

осанке линия тазобедренных суставов имеет значение  $0^\circ$  и параллельна земле. Плечевые суставы имеют идеальное горизонтальное положение со значениями  $0^\circ$ . Имеется двусторонняя симметрия.

На рисунках 5, 6 и 7 в качестве примера, представлены виды ассиметричной осанки в соответствии с подходом вышеуказанного автора, рассматриваемая в трех плоскостях, и ее 3D-матричная запись в таблицах 3, 4 и 5, где представлены суставные углы в основной стойке анализируемой позы.

Анализируя, для примера, матричную запись позы тела перекоса 3-й степени (таблица 5), следует отметить следующие моменты: имеются противоположно направленные отклонения в поясничном отделе вперед на  $5^\circ$  (угол циркумдукции  $\alpha=0$ ), в грудном отделе назад на  $15^\circ$  ( $\alpha=180^\circ$ ), и в атлантозатылочном назад



Рисунок 5. – 1-я степень



Рисунок 6. – 2-я степень

на  $5^\circ$  ( $\alpha=180^\circ$ ). Для плечевых суставов в данной ситуации характерно отклонение плеч вперед, причем правая рука перемещается на  $13^\circ$  ( $\alpha=0$ ), а левая – на  $17^\circ$  ( $\alpha=0$ ). Описанная конфигурация суставных углов в целом

Таблица 5. – Матричная запись перекоса 3-й степени

180	7	0	180	4	0	0	8	0	–	–	–
180	9	0	180	4	0	0	8	0	–	–	–
0	13	45	0	3	0	0	0	0	–	–	–
0	17	–45	0	3	0	0	0	0	–	–	–
0	5	0	180	15	0	0	10	0	180	5	0



Рисунок 7. – 3-я степень

приводит к наклону туловища вперед и оценивается как сутулость.

Для тазобедренных суставов характерно отклонение вперед ( $\alpha=0$ ). Для правой ноги оно составляет  $7^\circ$ , а для левой –  $9^\circ$ . Положения коленных суставов соответствуют сгибаниям на  $4^\circ$  ( $\alpha=180^\circ$ ) для обеих ног. Вышеуказанные значения суставных углов обеспечивают положение равновесия.

**Заключение.** Диагностика осанки на основе измерения суставных углов и матричной записи позы с последующим их сравнением с эталонными значениями является перспективным направлением в построении целенаправленного процесса коррекции асимметрии опорно-двигательного аппарата. Цифровая запись суставных углов позволяет в дальнейшем адаптировать эту информацию для создания компьютерных программ, осуществляющих автоматический подбор конкретных упражнений для коррекции осанки.

1. Али, М. Держите спину прямо. Как забота о позвоночнике может изменить вашу жизнь / М. Али ; пер. с англ. И. Черногго. – М. : Изд-во «Э», 2017. – 272 с.

2. Блюм, Е. Э. Биомеханика: методы восстановления органов и систем / Е. Э. Блюм. – М. : Эксмо, 2020. – 208 с.

3. Капанджи, А. И. Позвоночник: физиология суставов / А. И. Капанджи ; пер. с англ. Е. В. Кишиневского. – М. : Эксмо, 2009. – 344 с.

4. Кашуба, В. А. Биомеханика осанки / В. А. Кашуба. – Киев : Олимпийская литература, 2003. – 280 с.

5. Назаров, В. Т. Движения спортсмена / В. Т. Назаров. – Минск : Польша, 1984. – 175 с.

6. Сотский, Н. Б. Биомеханика : учеб. для студентов учр. высш. образования / Н. Б. Сотский. – Минск : РИВШ, 2023. – 214 с.

7. Уриа, А. М. Диагностика и лечение позвоночника. Уникальная система доктора А. М. Уриа / А. М. Уриа ; пер. с исп. Ю. Сусоевой. – М. : РИПОЛ классик, 2015. – 400 с.

8. Эгоскью, П. К здоровью через движение: революционная программа, которая позволит вам открыть неизведанные возможности вашего тела = The Egoscue Method of Health Through Motion : пер. с англ. / П. Эгоскью, Р. Джиттинс. – М. : Крон-Пресс, 1995. – 249 с.

9. Эгоскью, П. Метод Эгоскью: серия мягких упражнений и продуманных растяжек E-CISES для восстановления мышц, связок и суставов / П. Эгоскью ; пер. с англ. С. В. Котовой. – М. : Эксмо, 2023. – 304 с.