

////////////////////////////////////

# БИОМЕХАНИЧНІ, ПЕДАГОГІЧНІ, МЕДИКО-БІОЛОГІЧНІ ТА ПСИХОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ ФІЗИЧНОГО ВИХОВАННЯ ТА СПОРТУ

УДК 796.012

Сотский Н. Б.

ORCID 0000-0001-9835-1068

Доктор педагогических наук, доцент,  
заведующий кафедрой биомеханики,  
Белорусский государственный университет физической культуры  
(Минск, Республика Беларусь) E-mail: nsotsky@gmail.com

## О МОДИФИКАЦИИ СПОСОБА ЗАПИСИ ПОЗЫ ЧЕЛОВЕКА ДЛЯ БИОМЕХАНИЧЕСКОГО АНАЛИЗА ФИЗИЧЕСКОГО УПРАЖНЕНИЯ

**Цель работы.** Работа посвящена модификации методики определения и цифровой записи позы человека на основе определения углов в суставах для всех анатомически возможных движений в указанных сочленениях и помещения информации в специально созданную трехмерную матричную форму, построенную с учетом количества биокинематических цепей, суставов в этих цепях и анатомически возможных типов суставных движений.

**Методология.** В работе использованы методы анализа литературы, теоретические подходы классической биомеханики, моделирование.

**Научная новизна.** В работе предложена модифицированная методика определения и цифровой записи пространственной позы человека и ее изменения в ходе выполнения физических упражнений. Предложенный подход впервые осуществляет измерение и цифровое описание позы на основе одной трехмерной матрицы, содержащей углы одновременно для всех анатомически возможных движений в суставах, размещенные в строгом порядке в соответствии с нумерацией биокинематических цепей, суставов этих цепей и типов суставных движений.

**Выводы.** Предложена модифицированная методика определения и цифровой записи позы человека, отличающаяся переходом от трех двухмерных матриц суставных движений к одной трехмерной матрице и позволяющая существенно сократить трудоемкость биомеханических исследований, связанных с анализом позы человека, а также представить позу в более наглядной и компактной форме, позволяющей более эффективно использовать предложенный метод в научных исследованиях, а также в учебном процессе по биомеханике в высших учебных заведениях спортивного профиля.

**Ключевые слова:** поза, матрица, запись.

**Постановка проблемы.** Педагогическая биомеханика представляет описание двигательного действия человека как совокупность трех составляющих программ. Это – программы места, ориентации и позы [1, 2]. Первые две программы описывают особенности перемещения тела как целого в пространстве, а программа позы связана с его обеспечением, хотя в некоторых случаях она имеет и самостоятельное значение (эстетика, художественное восприятие, артистизм).

Программа позы определяется суставными действиями, которые можно разбить на ограничения подвижности в сочленениях, называемые элементами осанки (ЭО) и активные суставные движения, рассматриваемые как управляющие движения (УД). ЭО создают из опорно-двигательного аппарата конструкцию для выполнения двигательного действия, а через УД указанная конструкция получает необходимую механическую энергию.

Поэтому в рамках биомеханического исследования двигательного действия анализ программы позы имеет важнейшее значение, в связи с чем, актуальным представляется совершенствование методики определения и цифровой записи позы человека.

В свое время нами был предложен принцип определения и записи позы, предполагающий измерение и запись суставных углов с помощью индексной или матричной формы. Процедура была в свое время защищена авторским свидетельством как изобретение [3] и в ходе дальнейшего совершенствования позволила описывать позу человека в виде трех матриц, относящихся к трем основным типам анатомически возможных движений в суставах [4].

Предложенная методика определения и анализа позы человека и ее изменений позволила провести ряд интересных исследования, в частности, связанных с анализом эффективности тренажерных технологий [5–7], однако ее практическое использование для анализа сложных пространственных движений человека представляло собой достаточно трудоемкую процедуру. В процессе ее осуществления необходимо было для каждого крупного сустава определить углы Эйлера, соответствующие каждому его анатомическому движению и записать каждый в отдельную матрицу. При этом в первую очередь формировалась матрица циркумдукционных движений, которая выполняла двойную функцию, определяя угол не только для указанного движения, но и пространственное направление для действия сгибательно-разгибательного типа. Таким образом, необходимо было постоянно анализировать одновременно данные двух или даже трех матриц позы, относящиеся к указанным типам суставных движений, что в заметной мере снижает эффективность процесса определения и записи пространственной позы человека.

**Цель настоящей работы** – модификация методики определения и цифровой записи позы человека на основе определения углов в суставах для всех анатомически возможных движений в указанных сочленениях и помещения информации в специально созданную трехмерную матричную форму, построенную с учетом количества биокинематических цепей, суставов в этих цепях и анатомически возможных типов суставных движений.

**Методология.** В работе использованы методы анализа литературы, теоретические подходы классической биомеханики, моделирование.

**Научная новизна.** В работе предложена модифицированная методика определения и цифровой записи пространственной позы человека и ее изменения в ходе выполнения физических упражнений. Предложенный подход впервые осуществляет измерение и цифровое описание позы на основе одной трехмерной матрицы, содержащей углы одновременно для всех анатомически возможных движений в суставах, размещенные в строгом порядке в соответствии с нумерацией биокинематических цепей, суставов этих цепей и типов суставных движений.

**Результаты исследования.** В ходе анализа различных математических способов записи массивов данных было установлено, что более удобным способом записи позы может быть сведение трех матриц суставных углов в единую форму, в которой каждая ячейка содержит три параметра, которые соответствуют углам основных анатомических движений (циркумдукции, сгибательно-разгибательному и ротации).

Цифровая запись позы в предложенной модифицированной форме имеет вид, представленный на рисунке 1, где в каждой ячейке находится информация об определенном суставе, наименование которого определяется индексами, расположенными справа от символа угла  $\phi$ . При этом первый индекс обозначает номер биокинематической цепи (правая нога – 1, левая нога – 2, правая рука – 3, левая рука – 4, позвоночный столб – 5). Второй индекс задает номер сустава на обозначенной первым индексом цепи и третий индекс – тип суставного движения (циркумдукция – 1, сгибательно-разгибательное – 2, ротация – 3).

Таким образом, каждая строка матрицы, представленной на рисунке 1а, последовательно содержит величины углов для суставов биокинематической цепи. При этом в каждой ячейке предлагается располагать по три значения, соответствующие основным анатомическим движениям.

На рисунке 1б предложенная форма записи позы показана в объемном виде, который позволяет наглядно оценить количество информации, содержащееся в матрице позы. Так, представленный параллелепипед содержит шестьдесят ячеек, что соответствует двадцати крупным суставам тела человека, для каждого из которых записывается по три угла, отражающих все основные анатомически возможные суставные движения.

Следует иметь в виду, что матрица позы построена с определенным запасом без учета отсутствия в некоторых суставах того или иного типа движения. В таких случаях соответствующие суставные углы записываются как имеющие нулевое значение. Другая особенность предложенной формы записи заключается в возможности дополнения при необходимости модели информацией о более мелких суставах, например, суставах пальцев, позвоночника. В таком случае количество ячеек может быть увеличено с сохранением предложенной индексации.

$$\varphi_{ijk} = \left( \begin{array}{ccc} \varphi_{111}, \varphi_{112}, \varphi_{113}, & \dots & \varphi_{141}, \varphi_{142}, \varphi_{143}, \\ \varphi_{211}, \varphi_{212}, \varphi_{213}, & \dots & \varphi_{241}, \varphi_{242}, \varphi_{243}, \\ \dots & \dots & \dots \\ \varphi_{511}, \varphi_{512}, \varphi_{513}, & \dots & \varphi_{541}, \varphi_{542}, \varphi_{543}, \end{array} \right)$$

а

	$\varphi_{113}$	$\varphi_{213}$	$\varphi_{313}$	$\varphi_{413}$	$\varphi_{513}$
	$\varphi_{112}$	$\varphi_{212}$	$\varphi_{312}$	$\varphi_{412}$	$\varphi_{512}$
	$\varphi_{111}$	$\varphi_{211}$	$\varphi_{311}$	$\varphi_{411}$	$\varphi_{511}$
$\varphi_{111}$	$\varphi_{211}$	$\varphi_{311}$	$\varphi_{411}$	$\varphi_{511}$	$\varphi_{511}$
$\varphi_{121}$	$\varphi_{221}$	$\varphi_{321}$	$\varphi_{421}$	$\varphi_{521}$	$\varphi_{521}$
$\varphi_{131}$	$\varphi_{231}$	$\varphi_{331}$	$\varphi_{431}$	$\varphi_{531}$	$\varphi_{531}$
$\varphi_{141}$	$\varphi_{241}$	$\varphi_{341}$	$\varphi_{441}$	$\varphi_{541}$	$\varphi_{541}$

б

Рис. 1. Матрица записи пространственной позы человека (а – плоский вариант записи, б – объемная иллюстрация записи)

Важным моментом при использовании определения позы человека и ее цифровой записи являются правила измерения суставных углов. Здесь следует заметить, что в позе «основная стойка» все суставные углы условно принимаются равными нулю и отсчет каждого из них ведется по отношению к указанному положению, причем независимо друг от друга. Первым определяется угол циркумдукции (индекс суставного движения 1). Он имеет двойную функцию – свое собственное значение и задание плоскости сгибательно-разгибательных движений. Нулевая величина угла для циркумдукции соответствует отклонению звена в суставе в направлении «вперед». Например, если выполнить чистое сгибание в плечевом суставе на 45 градусов, это будет соответствовать нулевому циркумдукционному углу, а если отведение, то последний будет составлять 90 градусов. Соответствующие значения будут иметь и промежуточные углы между указанными положениями. Иными словами, движения сгибательно-разгибательного типа должны задаваться двумя характеристиками – циркумдукционным углом, определяющим его направление и собственно величиной угла для самого движения данного типа (угол между продольными осями сочлененных в суставе звеньев тела).

Ротационные движения определяются изменением угла поворота продольной оси звена по отношению к его положению, соответствующему «основной стойке» для рассматриваемого сустава.

В значительной мере упрощает запись позы так называемое «правило умолчания», суть которого состоит в том, что нулевые значения суставных углов можно не указывать. Смысл указанного правила состоит в том, что если про какой-нибудь суставной угол для какого-нибудь типа движения информации нет, то он автоматически считается нулевым и соответствует позе «основной стойки». Например, запись  $\varphi_{112} = 45$  может быть интерпретирована как «в тазобедренном суставе правой ноги произошло сгибание на 45 градусов» (по умолчанию угол циркумдукции не указан, следовательно, он имеет нулевое значение, т.е.  $\varphi_{111} = 0$  и произошло чистое сгибание). Остальные суставные углы, опять же по умолчанию соответствуют позе основной стойки.

Для иллюстрации модифицированного метода определения и записи позы человека представим промежуточную позу для одного и того же упражнения по традиционной схеме и по модифицированной методике. Результаты такого сравнения представлены на рисунке 2, где верхняя часть рисунка соответствует традиционной системе записи позы, а нижняя – модифицированной.

Сравнение приведенных форм записи позы с очевидностью показывает преимущество модифицированной формы, которое, прежде всего, заключается в нахождении информации, связанной с

суставными углами в одном месте (ячейке матрицы), соответствующем конкретному суставу, причем в одной ячейке находятся сразу все значения, относящиеся к трем основным типам суставных движений. Это позволяет анализировать позу, не требуя постоянного переключения внимания с одной матрицы на две другие.

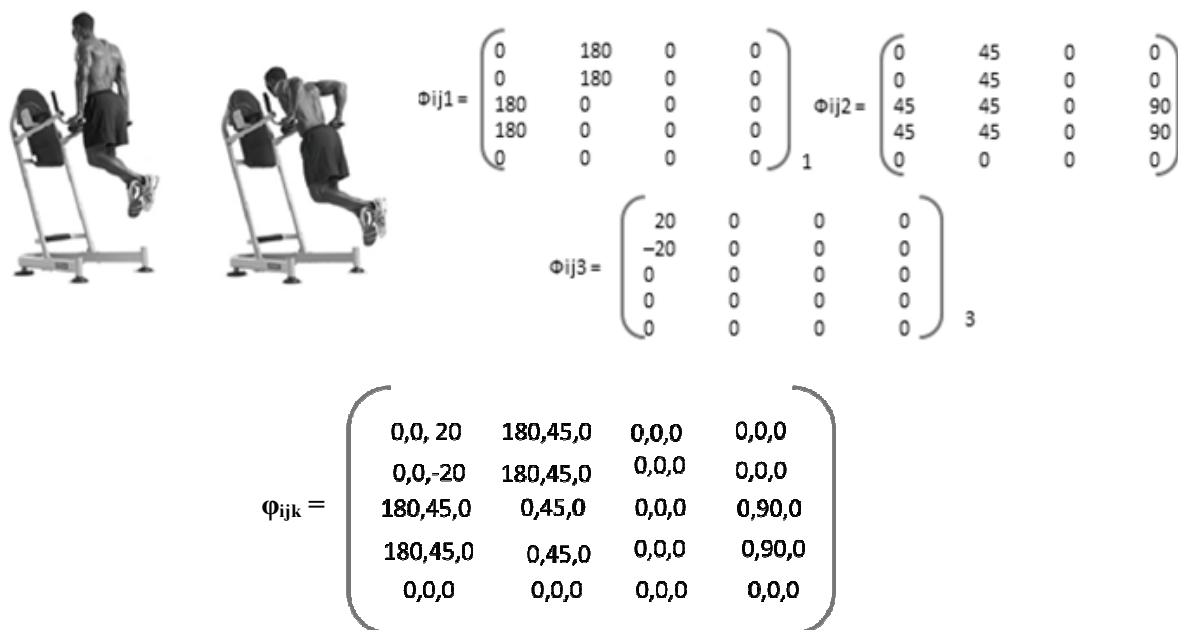


Рис. 2. Сравнение традиционного (верхняя часть рисунка) и модифицированного (нижняя часть) методов определения и записи позы человека

Другим преимуществом предложенной формы записи позы представляется существенная компактность, позволяющая удобно и логично описывать пространственную позу человека и использовать полученные данные в исследовательских методах, связанных с биомеханическим компьютерным синтезом физических упражнений.

**Выводы.** Таким образом, предложена модифицированная методика определения и цифровой записи позы человека, отличающаяся переходом от трех двумерных матриц суставных движений к одной трехмерной матрице и позволяющая существенно сократить трудоемкость биомеханических исследований, связанных с анализом позы человека, а также представить позу в более наглядной и компактной форме.

## References

1. Назаров, В. Т. Движения спортсмена. Минск : Польша, 1984. 176 с.  
Nazarov, V. T. (1984). Dvizenija sportsmena [Athlete's movements]. Minsk, USSR : Polimja.
2. Сотский Н. Б. Биомеханика : учеб. для студентов специальности «спортивно-педагогическая деятельность». Минск : БГУФК, 2005. 192 с.  
Sotsky, M. B. (2005). Biomehanika [Biomechanics]. Minsk, Belarus: BGUFK, 2005.
3. Способ определения позы человека : а. с. 1463231 СССР : В. Т. Назаров, Н. Б. Сотский и др. ; дата публ.: 07.03.1989. *Открытия. Изобретения.* 1989. № 9. С. 45.  
Nazarov, V. T., Sotsky, M. B. et al. (1989). Sposob opredelenija pozi cheloveka [Way to determine a person's posture]. patent 1463231 USSR. *Otkrutija. Izobretenija – Discoveries. Inventions*, 9, 45.
4. Сотский Н. Б., Екимов В. Ю., Пономаренко В. К. Практикум по биомеханике : практикум. Минск : БГУФК, 2014. 108 с.  
Sotsky, M. B. Ekimov, V. J., Ponomarenko, V. K. (2014). Praktikum po biomehanike [Biomechanics practice]. Minsk, Belarus : BGUFK.
5. Сотский Н. Б. Теоретико-методические основы разработки фрикционных тренажеров со многими степенями свободы: монография. Минск : БГУФК, 2018. 227 с.

- Sotsky, M. B. (2018). Tejretiko-metodicheskie osnovi razrabotki frikcionnih trenagorov so mnogimi stepenjami svobody [Theoretic and methodical foundations for the development of frictional simulators with many degrees of freedom]: a monograph. Minsk, Belarus: BGUFK.
6. Сотский Н. Б. (2018). Биомеханическая конструктивная эффективность традиционных средств силовой тренировки. *Вісник Чернігівського національного педагогічного університету ім. Т. Г. Шевченка. Серія: Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт* ; гол. ред. М. О. Носко. Чернігів, 2018. Вип. 154. Т. 1. С. 211–220.  
Sotsky, M. B. (2018). Biomechanicheskaja konstruktivnaja effektivnost tradicionnih sredstv silovoj trenirovki [Biomechanical constructive effectiveness of traditional strength training]. *Visnyk Chernihivskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu im. T. H. Shevchenka. Serii: Pedahohichni nauky. Fizychne vykhovannia ta sport – Bulletin of Chernihiv T. H. Shevchenko National Pedagogical University. The Series: Pedagogical sciences. Physical education and sports*, 154 (1), 211–220.
7. Позюбанов Э. П., Сотский Н. Б., Полубок В. С., Шахдади А. Н. Качественный биомеханический анализ финального разгона в метании копья *Вісник Чернігівського державного педагогічного університету ім. Т. Г. Шевченка. Серія: Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт* ; гол. ред. М. О. Носко. Чернігів, 2013. Т. 4. С. 49–54.  
Pozubanov, E. P., Sotsky, N. B., Polubok, V. S., Shakhdady, A. N. (2013). Kachestvennij biomechanicheskij analiz finalnogo razgona v metanii kopja [Quality biomechanical analysis of the final acceleration in javelin throwing] *Visnyk Chernihivskoho natsionalnoho pedahohichnoho universytetu im. T. H. Shevchenka. Serii: Pedahohichni nauky. Fizychne vykhovannia ta sport – Bulletin of Chernihiv T. H. Shevchenko National Pedagogical University. The Series: Pedagogical sciences. Physical education and sports*, 4. 49–54.

Sotsky M.

ORCID 0000-0001-9835-1068

Doctor of Pedagogical Sciences, Associate Professor  
Head of the Department of Biomechanics  
Belarusian State University of Physical Culture  
(Minsk, Republic of Belarus) E-mail: nsotsky@gmail.com

#### ON MODIFICATION OF A METHOD FOR RECORDING A HUMAN POSTURE FOR BIOMECHANICAL ANALYSIS OF A PHYSICAL EXERCISE

**Purpose of the work.** The work is devoted to modification of the method of determining and digital recording of human postures based on the definition of angles in the joints for all anatomically possible movements in these joints and placing information in a specially created three-dimensional matrix form, built on the number of biokinematic chains, joints in these chains and anatomically possible types of joint movements.

**Methodology.** The work uses methods of analysis of literature, theoretical approaches of classical biomechanics, modelling.

**Scientific novelty.** The paper proposes a modified method of determining and digitally recording a person's spatial posture and changing it during exercise. The proposed approach for the first time measures and digitally describes a posture based on a single three-dimensional matrix containing angles simultaneously for all anatomically possible movements in the joints, placed in strict order in accordance with the numbering of biokinematic circuits, joints of these chains and types of joint movements.

**Conclusions.** Proposed a modified method of determining and digital recording of human posture, differing from three two-dimensional matrix of joint movements to one three-dimensional matrix, which significantly reduces the laboriousness of biomechanical research related to the analysis of human posture, as well as to present the posture in a more visual and compact form, allowing more effective use of the proposed method in scientific research, as well as in the educational process of biomechanics in higher education.

**Key words:** Pose, matrix, record.

Стаття надійшла до редакції 17.10.2020 р.

Рецензент: доктор педагогічних наук, професор Т. П. Юшкевич