

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЦИОНАЛЬНОЙ ПОЗЫ СИСТЕМЫ ЧЕЛОВЕК-КОМПЬЮТЕР»

Кашуба В.А., Бышевец Н.Г., Сергиенко К.Н., Колос Н.А.  
 Национальный университет физического воспитания и спорта Украины  
 Национальная академия государственной налоговой службы Украины

**Аннотация.** В статье представлены наиболее типичные рабочие позы при работе за компьютером обосновывается использование метода координат для аналитического представления позвоночного столба в сагиттальной плоскости, разработана математическая модель позвоночного столба человека в сагиттальной плоскости при рациональной позе работы за компьютером

**Ключевые слова:** позвоночный столб, межпозвоночный диск, моделирование, аналитическое представление, композиция, движение.

**Анотація.** Кашуба В.О., Бишевец Н.Г., Сергієнко К.М., Колос М.А. Моделювання раціональної пози людини при роботі за комп'ютером. У статті представлені найбільш типові робочі пози при роботі за комп'ютером, обґрунтовується шкідлива дія неправильного вибору робочої пози на опорно-руховий апарат, обґрунтовується використання методу координат для аналітичного представлення хребетного стовпа в сагітальній площині, а також як приклад розроблена математична модель вигинів хребетного стовпа в сагітальній площині при раціональній статичній позі людини.

**Ключові слова:** хребет, міжхребтовий диск, моделювання, аналітичне представлення, композиція, рух.

**Annotation.** Kashuba V.A., Byshevets N.G., Sergienko K.N., Kolos N.A. Design of rational pose of man during work at the computer. In the article the most typical workings poses are presented during work at the computer, the harmful affecting of wrong choice of working pose is grounded locomotor vehicle, the use of method of co-ordinates is grounded for analytical presentation of bends of vertebral post in a sagittal plane, and also the mathematical model of bends of vertebral post is as an example developed in a sagittal plane at the rational static pose of man.

**Key words:** spine, spine discs, model, analytical notion, composition, motion.

### Введение.

Проблема негативного воздействия компьютера на организм человека по свидетельствам данных специальной литературы [1, 4, 7] приобрела угрожающие масштабы. В связи с этим в последние годы наиболее развитые экономические страны уделяют безопасности работы с компьютерами значительное внимание: разрабатываются стандарты, регламентирующие требования к компьютерам и периферийным устройствам, а также правила безопасности при работе с ними. Однако динамика роста числа заболеваний позвоночного столба не только не уменьшается, а с учетом повсеместного внедрения компьютерных технологий в различные сферы жизни людей наоборот увеличивается. В связи с этим проблема профилактики и коррекции функциональных и фиксированных нарушений опорно-двигательного аппарата приобрела массовый характер, что, к сожалению, способствовало актуальности исследований в области изучения биомеханики рабочей позы за компьютером как предпосылки к дальнейшему развитию эргономической биомеханики и разработки методов превентивной профилактики нарушений пространственной организации тела человека.

Большинство заболеваний опорно-двигательного аппарата, согласно теории Брюггерра, не являются первично заболеваниями опорно-двигательного аппарата, а представляют собой защитные реакции центральной и периферической нервной системы [6]. Эти защитные механизмы включаются при неадекватной нагрузке на структуры опорно-двигательного аппарата. Подобная постоянно действующая нерациональная нагрузка нарушает восстановительный потенциал «перегруженных» структур и на начальном этапе развиваются только функциональные нарушения. Позже, если они не устраняются, могут развиваться и структурные изменения. В медицинской литературе подчеркивается на тот факт, что у пользователей компьютера наблюдается синдром длительной статической нагрузки, который может привести к искривлению позвоночного столба, болям в руках, шее, пояснице, а также туннельный синдром запястья [11], поднимаются вопросы влияния статических нарушений опорно-двигательного аппарата человека на биомеханические свойства скелетных мышц [5].

Анализ специальной аппаратуры свидетельствует о том, что разработка эргономических требований к организации рабочего места учащихся и научный подход к дозированию времени, рекомендуемого для занятий за компьютером непосредственно связаны с изучением строения позвоночного столба человека как сложной системообразующей многозвеньевой системы опорно-двигательного аппарата, анатомо-физиологические и биомеханические свойства которой в значительной степени влияют на формирование осанки и состояние здоровья человека. В настоящее время изучение означенных проблем движется в двух направлениях: проектирование и последующая разработка рабочего места работающего за компьютером с точки зрения его эргономической целесообразности, а также исследование комплекса внешних и внутренних причин, вызывающих как неприятные ощущения при длительной работе за компьютером так и различные нарушения пространственной организации тела человека. По мнению ряда специалистов [7, 8, 9], в том случае, когда условия работы требуют длительного сохранения статического положения туловища или верхних конечностей необходимо учитывать нагрузку, приходящуюся на те мышечные группы, которые обеспечивают поддержание позы. По мнению Г. Г. Демирчоглына [4], между работой на компьютере и астенопией, болями в спине и шее, запястным синдромом, костномышечными заболеваниями, остеохондрозом существует прямая связь, поэтому в кресле оператора персонального компьютера (ПК) должны быть предусмотрены отдельные подлопаточные и

поясничные опоры, а спинка кресла и подлокотники должны регулироваться по высоте и расположению в плоскости. Однако, как отмечает автор, как бы удобно ни устроился человек за своим компьютером «рабочий день» перед экраном не должен превышать шести часов и, при этом он рекомендует через каждые два часа делать перерывы и короткие физкультурные паузы.

С другой стороны, как нами отмечалось ранее, рассмотрение вопроса биомеханики рабочей позы «сидя» напрямую связан как с вопросом расположения позвоночного столба, так и с определением механизма создания механической нагрузки на межпозвоночные диски при отклонении от рациональной позы при работе за компьютером

Поза – это конфигурация сегментов тела в каждый момент времени. Она выполняет следующие функции

- ориентации сегментов тела относительно направления гравитации;
- их стабилизацию в условиях гравитационных взаимодействий и динамических возмущений.

Это функциональное определение подразумевает наличие в любом двигательном акте двух составляющих: основной, непосредственно направленной на выполнение двигательной задачи, и вспомогательной позы, обеспечивающей выполнение основного движения.

Как отмечает Рок Ц.М. [6], конфигурация туловища в положении сидя характеризуется сбалансированными физиологическими изгибами позвоночного столба, что имеет решающее значение для оси скелета как несущей опоры тела человека (рис.1). По мнению автора, три зубчатых колеса представляют собой биомеханическую основу оптимальной конфигурации спины (рис.1 б).

При правильной рабочей позе нагрузка на переднюю и заднюю часть поясничных межпозвоночных дисков примерно одинакова (рис.2) [2].

Ряд авторов [9] склонны рассматривать движения позвоночного столба как деформацию твердого тела, при которой возникает сила упругости  $N$ , стремящаяся восстановить прежние размеры и форму тела и возникающая вследствие электромагнитного взаимодействия между атомами и молекулами вещества и противоположная силе давления позвоночного столба на опору  $P$ .

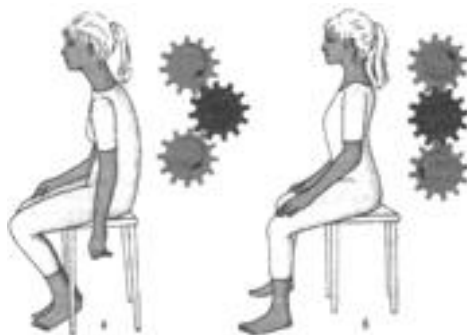


Рис. 1. Конфигурация спины в оптимальном и неблагоприятном положениях по Брюггеру в условиях нагрузки [6]

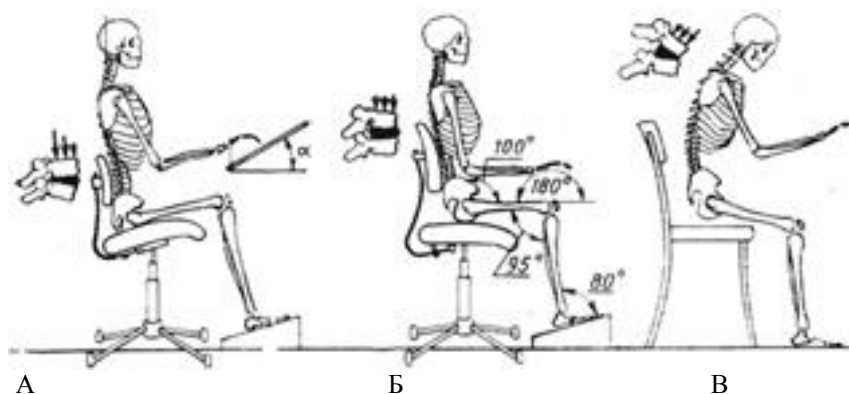


Рис. 2. Сравнение рабочей позы сидя за компьютером. А, В – неправильные положения, Б – правильное положение [2]

Не смотря на то, что утомление определенных мышечных групп, которое накапливается в течение длительного времени, может привести к ряду заболеваний, а длительное пребывание студентов в неправильной позе может вызвать те или иные нарушения осанки, в специальной литературе еще недостаточно изучены наиболее типичные рабочие позы студентов при работе за компьютером. Не обосновано использование метода координат для аналитического представления рабочей позы сидя за компьютером. В специальной научно-

методической литературе мы не обнаружили данных о математической модели позвоночного столба человека в сагиттальной плоскости при рациональной рабочей позе за компьютером

Работа выполнена согласно плана научно-исследовательской работы кафедры кинезиологии Национального университета физического воспитания и спорта Украины и Сводного плана НИР в области физической культуры спорта на 2006–2010 гг. Государственного комитета Украины по вопросам физической культуры и спорта по теме 3.2.1. «Совершенствование биомеханических технологий в физическом воспитании и реабилитации с учетом пространственной организации тела человека».

#### **Формулирование целей работы**

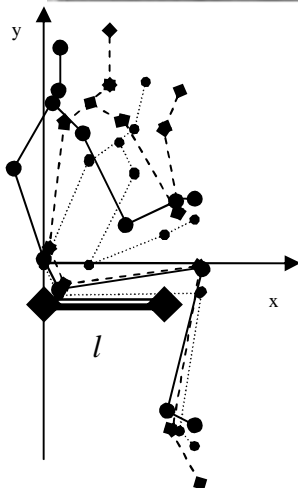
*Задачи:* 1) Изучить типичные рабочие позы студентов при работе за компьютером 2) Разработать и обосновать математическую модель системы «студент-компьютер» относительно сагиттальной плоскости при рациональной позе учащихся.

#### **Результаты исследований.**

Проведенные исследования позволили определить основные рабочие позы, которые принимают студенты во время учебных занятий в компьютерном классе.

Из типичных рабочих поз учащихся при работе за компьютером нами были отмечены следующие положения «туловище наклонено вперед», «туловище наклонено назад», а также положение «наклон головы». При определении пространственной организации тела человека мы опирались на мнение специалистов, согласно которому при гониометрических исследованиях кривизны позвоночного столба целесообразно использовать следующие анатомические точки: ионион, остистый отросток позвонка  $C_5$ , остистый отросток позвонка  $C_7$ , остистый отросток грудного позвонка  $T_7$ , остистый отросток позвонка  $L_5$  и остистый отросток позвонка  $S_4$  [3].

**Положение «наклон туловища вперед» (рис.2)** при этой позе учащийся наклоняется вперед, располагая центр тяжести верхней части тела примерно над седалищными буграми или спереди от них и приближая глаза к опорной поверхности. Именно эта поза чаще всего является рабочей. При сидении человека на опоре без поддерживающей спинки силы реакции опоры, вызванные действием веса расположенных выше частей тела, приложены к седалищным буграм (рис.3), при этом возрастает действие сил на пояснично-крестцовое сочленение



а б  
Рис. 2. а - видеограмма, б - биокинематическая схема положения учащегося в рабочей позе за компьютером (наклон туловища вперед) в сагиттальной плоскости,  $l$  – плоскость опоры

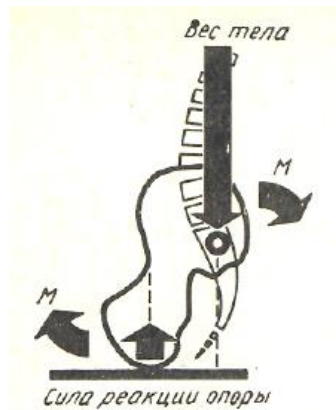


Рис. 3. Возникновение момента вращения  $M$  в позе сидя [2]

В результате на таз человека действует момент вращения, который при расслабленной мускулатуре приводит к повороту таза, сползанию вперед и опрокидыванию туловища назад. При этом силы, действующие на пояснично-крестцовое сочленение, возрастают, что приводит к увеличению нагрузки на межпозвоночные диски. Действие этого момента может быть до некоторой степени нейтрализовано опорой о спинку (рис.4).

Полученные нами результаты подтверждают данные [2], в которых отмечается, что 85-90% учащихся могут в течение дня выдерживать рабочую позу, при которой угол наклона туловища не превышает  $20^{\circ}$ .

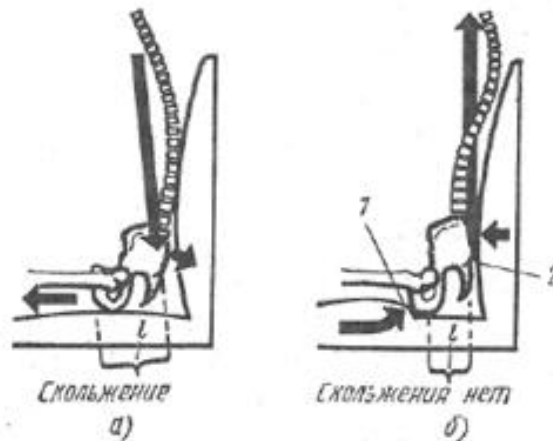
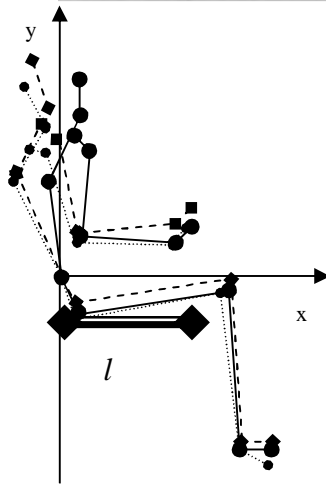


Рис. 4. Влияние профиля сиденья на положение позвоночного столба:

а – плоское сиденье; вес верхней части корпуса создает момент вращения, действующий на таз, при этом сидельные бугры сползают вперед, а позвоночный столб неестественно изгибается; такая поза неудобна часто ведет к повреждениям или к болезненным сдвигам в области таза; б – изогнутое сиденье, имеющее, например, опорную подушку 1, уменьшает скольжение вперед. Прочная опора 2 в области поясницы поддерживает таз, который занимает анатомически правильное положение. Туловище может быть расслаблено [2].

#### Положение «наклон туловища назад» (рис. 5)



а

б

Рис. 5. а - видеограмма, б - биокинематическая схема положения учащегося в рабочей позе за компьютером (наклон туловища назад) в сагиттальной плоскости,  $l$  – плоскость опоры

Изучая динамику рабочей позы сидя в положении «наклон туловища назад», можно отметить, что такое положение возможно при условии, когда учащийся во время учебного занятия не опирается на поддерживающую спинку стула. В этом случае силы реакции опоры, вызванные действием веса расположенных выше таза частей тела, приложены к сидельным буграм, в результате чего на таз действует момент вращения, который при расслабленной мускулатуре приводит к повороту таза, сползанию вперед и опрокидыванию туловища назад, действие которого может быть в некоторой степени нейтрализовано опорой о спинку. Для противодействия моменту силы, действующему на таз, и сохранения рабочей позы в работу включается большое число мышц, а вследствие того, что длительное сохранение такой позы утомительно, человек вынужден перемещать туловище вперед, по возможности сближая линии действия результирующей веса верхней части тела и результирующей сил реакции опоры.

#### Положение «наклон головы» (рис. 6)



Рис.6. а - видеорама, б - биокинематическая схема положения учащегося в рабочей позе за компьютером (наклон головы) в сагиттальной плоскости,  $l$  – плоскость опоры

Как один из типичных недостатков рабочей позы за компьютером можно отметить наклон головы, что приводит к болям в затылочной области. Специалистами установлено [2], что боли в области шеи, возникающие при работе учащихся с компьютером, возникают вследствие утомления мышц ее задней поверхности. Экспериментальные исследования показали, что в случае, если угол наклона головы в течение длительного времени превышает  $25 - 30^{\circ}$ , следует корректировать рабочую позу учащегося.

Анализ и систематизации научно-методической и специальной литературы свидетельствует о том, что на каждый из позвонков позвоночного столба действует вес выше лежащих частей тела [2]. Однако, даже в случае, когда учащийся принимает за компьютером позу, близкую к эталонной, центр масс выше лежащей части тела обычно расположен не непосредственно над межпозвоночным диском, а несколько впереди от него, что приводит к возникновению момента силы вращения, под действием которого тело сгибалось бы вперед, если бы моменту силы тяжести не был противопоставлен момент силы, создаваемый мышцами-разгибателями позвоночного столба. Эти мышцы расположены близко от оси вращения, которая находится приблизительно в районе студенистого ядра межпозвоночного диска, и поэтому плечо силы их тяги небольшое. Очевидно, что при наклоне туловища вперед (назад), который приводит к изменению сагиттальных изгибов позвоночного столба, модуль абсциссы центра масс увеличивается, вследствие чего увеличивается плечо силы тяжести  $L_1$ , действующей на определенный позвонок. Таким образом, нами было выдвинуто предположение о существовании зависимости между силой, действующей на межпозвоночный диск и позой, принимаемой учащимися в процессе работы за компьютером, что приводит к изменению положения центра тяжести системы «учащийся-компьютер». Учитывая, что вес выше лежащих частей тела  $W_1$  для каждого учащегося является величиной постоянной и принимая во внимание, что плечо силы мышц, разгибающих позвоночный столб  $L_2$ , согласно рекомендациям специалистов, следует принимать равным 50 мм [2], а также исходя из равновесия системы «учащийся – компьютер», которую можно записать в виде  $W_1 L_1 = F L_2$ , становится очевидным, что сила мышц, разгибающих позвоночный столб  $F$ , возрастает прямо пропорционально увеличению плеча силы тяжести  $L_1$ .

Поскольку линия действия силы мышечной тяги идет практически параллельно позвоночному столбу, она, суммируясь с силой тяжести согласно формуле  $P = W_1 + F$ , приводит к резкому увеличению давления на межпозвоночные диски (рис.7).

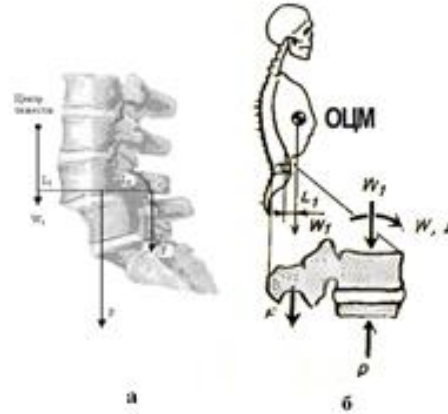


Рис.7. а - векторграмма механической нагрузки на межпозвоночные диски, б – механизм создания механической нагрузки на межпозвоночные диски где:  $L_1$  – плечо силы тяжести;  $L_2$  – плечо мышц, разгибающих позвоночный столб;  $W_1$  – вес сегментов тела, вышележащих от рассматриваемого межпозвоночного диска;  $F$  – сила тяжести;  $P$  – сила, действующая на межпозвоночный диск [2].

Резюмируя вышеизложенное, можно отметить, что силу, действующую на межпозвоночный диск, можно вычислить согласно формуле:

$$P = W_1 \left( 1 + \frac{L_1}{L_2} \right), \quad (1)$$

Анализируя полученную математическую модель определения нагрузки на межпозвоночные диски при работе за компьютером можно отметить, что величина  $P$  зависима от величин  $W_1$  и  $L_1$ , однако, учитывая, что значение  $W_1$  для каждого из учащихся является величиной постоянной, можно утверждать, что выдвинутая гипотеза подтверждается и действительно существует зависимость между силой, действующей на межпозвоночные диски, и позой, принимаемой учащимися в процессе работы за компьютером. Несмотря на то, что технология прижизненного определения внутридискового давления, заключающаяся во введении иглы с манометрическим датчиком в студенистое ядро, находящееся в центре фиброзного кольца межпозвоночного диска, в силу своей сложности не распространена в повседневной практике, предложенный метод позволяет обосновать негативное влияние неправильной рабочей позы на позвоночный столб во время занятий в компьютерном классе. Следовательно, проведенные теоретические исследования обуславливают актуальность определения местоположения межпозвоночных дисков на плоскости, а также аналитического представления функций, описывающих отдельные сегменты позвоночного столба.

С целью выявления изменений, происходящих в области позвоночного столба при неправильном выборе положения в позе сидя, сравнительного анализа с фактическими данными, полученными в ходе исследования, а также для математического моделирования оптимального положения учащегося за компьютером на протяжении учебного занятия, нами определено эталонное положение (рис. 8). По свидетельствам многочисленных исследований, положение, при котором спина остается прямой, позвоночный столб расположен под углом  $90^\circ$  к плоскости сидения и поясничный лордоз сохраняется, специалисты [2] считают эталонной при работе за компьютером. Тогда, несмотря на высокую степень мышечной активности, вследствие чего поза оказывается утомительной, нагрузка на позвоночный столб распределяется равномерно, а сохранение поясничного лордоза способствует тому, что давление в межпозвоночных дисках оказывается относительно небольшим.

Приняв точку отсчета координат  $O(0,0)$ , которой соответствует остистый отросток позвонка  $T_7$  как инвариантную точку, в результате анализа полученных данных мы зафиксировали изменение элементарных углов наклона отделов позвоночного столба (см. рис.8). Установлено, что при эталонном положении принимаемом учащимся в позе сидя за компьютером сагиттальным изгибом позвоночного столба соответствует ломаная линия  $AOBCD$ , вершинам которой соответствуют означенные точки, а элементарным углам наклона отделов позвоночного столба отвечают углы  $a^1 = 20^\circ$ ,  $b^1 = 20^\circ$ ,  $g^1 = 15^\circ$ ,  $d^1 = 30^\circ$ . Тогда, исходя из обозначений углов в декартовой системе координат (рис.6), находим, что углы  $a, b, g, d$  при рациональной позе за компьютером будут равны  $a = 250^\circ$ ,  $b = 110^\circ$ ,  $g = 75^\circ$ ,  $d = 120^\circ$ .

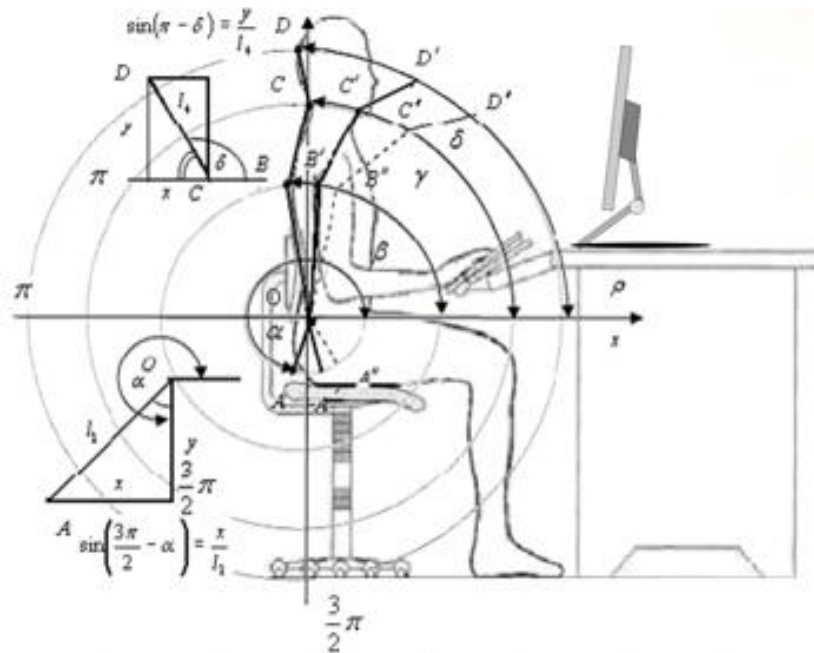


Рис.8. Биокинематическая схема рациональной статической позы учащегося при работе за компьютером:

$A$  - остистый отросток позвонка  $L_5$ ;

$O$  - остистый отросток позвонка  $T_7$ ;

$B$  - остистый отросток позвонка  $C_7$ ;

$C$  - остистый отросток позвонка  $C_5$ ;

$D$  - точка затылочного бугра (инион);

$A', B', C', D'$  и  $A'', B'', C'', D''$  - точки переходочек  $A, B, C, D$  при изменении положения кривой.

$|ND|$ ,  $|CN|$  – координаты точки  $D$  по оси  $Ox$  и оси  $Oy$ ;

$|AM|$ ,  $|MO|$  – координаты точки  $A$  по оси  $Ox$  и оси  $Oy$ .

$a^1 = \left| \frac{3}{2}p - a \right|$ ,  $b^1 = \left| \frac{p}{2} - b \right|$ ,  $g^1 = \left| \frac{p}{2} - g \right|$ ,  $d^1 = \left| \frac{p}{2} - d \right|$  – элементарные углы наклона отделов

позвоночного столба.

Проведенное изучение рабочих поз учащихся в процессе учебного занятия выполнено на основе анализа отделов позвоночного столба относительно сагиттальной плоскости. Каждый из этих отделов рассмотрен нами как прямая на плоскости и представлен в виде прямой с угловым коэффициентом  $x = ky + b$ . При этом угловой коэффициент в уравнении прямой равен котангенсу определенного угла ( $a, b, g, d$ ) наклона прямой к оси  $Ox$ . Поскольку каждый из отделов позвоночного столба имеет постоянную длину:  $|AO| = l_1$ ,  $|OB| = l_2$ ,  $|BC| = l_3$ ,  $|CD| = l_4$ , а метод измерения сагиттальных изгибов позвоночного столба известен специалистам, то определить координаты вершин ломаной линии при известном катете, гипотенузе и углу можно, исходя из свойства прямоугольного треугольника (см. рис.8). Тогда соответствующие точки имеют следующие координаты (1) в декартовой плоскости:

$$A(-l_1|\cos a|; -l_1|\sin a|), B(-l_2|\cos b|; l_2|\sin b|), C(0; l_2|\sin b| + l_3|\sin g|), D(-l_4|\cos d|; l_2|\sin b| + l_3|\sin g| + l_4|\sin d|).$$

Следовательно, аналитическое представление сагиттальных изгибов позвоночного столба соответствует системе (1):

$$\begin{cases} x_1 = \pm ctg a \cdot y; y \in [-l_1|\sin a|; 0] \\ x_2 = \pm ctg b \cdot y; y \in [0; l_2|\sin b|] \\ x_3 = \pm ctg g \cdot y + c_1; y \in [l_2|\sin b|; l_2|\sin b| + l_3|\sin g|] \\ x_4 = \pm ctg d \cdot y + c_2; y \in [l_2|\sin b| + l_3|\sin g|; l_2|\sin b| + l_3|\sin g| + l_4|\sin d|] \end{cases} \quad (2)$$

Опираясь на результаты исследований [3], а также используя предложенный метод, мы определили, что аналитическое представление позвоночного столба учащегося при работе за компьютером в случае позы, близкой к эталонной, имеет вид:

$$\begin{cases} x_1 = |ctga| \cdot y; y \in [-l_1 |\sin a|; 0] \\ x_2 = -|ctgb| \cdot y; y \in [0; l_2 |\sin b|] \\ x_3 = \frac{l_2 |\cos b|}{l_3 |\sin g|} \cdot y - \frac{l_2^2 |\sin 2b|}{2l_3 |\sin g|} + l_2 |\cos b|; \\ y \in [l_2 |\sin b|; l_2 |\sin b| + l_3 |\sin g|] \\ x_4 = -|ctgd| \cdot y + l_2 |\sin b| |ctgd| + l_3 |\sin g| |ctgd|; \\ y \in [l_2 |\sin b| + l_3 |\sin g|; l_2 |\sin b| + l_3 |\sin g| + l_4 |\sin d|] \end{cases} \quad (3)$$

После необходимых вычислений и округления результатов эксперимента нами получена математическая модель рациональной позы студента системы «студент-компьютер»:

$$\begin{cases} x_1 = |ctg 250^\circ| \cdot y; y \in [-l_1 |\sin 250^\circ|; 0] \\ x_2 = -|ctg 110^\circ| \cdot y; y \in [0; l_2 |\sin 110^\circ|] \\ x_3 = \frac{l_2 |\cos 110^\circ|}{l_3 |\sin 75^\circ|} \cdot y - \frac{l_2^2 |\sin 2 \cdot 110^\circ|}{2l_3 |\sin 75^\circ|} + l_2 |\cos 110^\circ|; \\ y \in [l_2 |\sin 110^\circ|; l_2 |\sin 110^\circ| + l_3 |\sin 75^\circ|] \\ x_4 = -|ctg 120^\circ| \cdot y + l_2 |\sin 110^\circ| |ctg 120^\circ| + l_3 |\sin 75^\circ| |ctg 120^\circ|; \\ y \in [l_2 |\sin 110^\circ| + l_3 |\sin 75^\circ|; l_2 |\sin 110^\circ| + l_3 |\sin 75^\circ| + l_4 |\sin 120^\circ|] \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} x_1 = 0,248 \cdot y; -0,97l_1 \leq y \leq 0 \\ x_2 = -22,58 \cdot y; 0 \leq y \leq 0,044l_2 \\ x_3 = 2,576 \frac{l_2}{l_3} \cdot y - 0,114 \frac{l_2^2}{l_3} + 0,999l_2; 0,044l_2 \leq \\ \leq y \leq 0,44l_2 + 0,388l_3 \\ x_4 = -1,402 \cdot y + 0,062l_2 + 0,544l_3; 0,44l_2 + 0,388l_3 \leq \\ \leq y \leq 0,44l_2 + 0,388l_3 + 0,58l_4 \end{cases} \quad (4)$$

Математическая модель рациональной статической позы студента во фронтальной плоскости имеет вид:

$$x = 0; \quad -0,97l_1 \leq y \leq 0,44l_2 + 0,388l_3 + 0,58l_4 \quad (5).$$

В результате проведенного исследования мы представили динамику положения позвоночного столба учащегося в процессе учебного занятия в компьютерном классе как серию композиций поворота и параллельного переноса  $f_2 \circ f_1$  (2) точек ломаной линии  $AOBCD$ . Установлено, что в процессе учебного занятия точки  $A, B, C, D$  переходят в соответственные точки  $A', B', C', D'$ , а потом в точки  $A'', B'', C'', D''$ .

Тогда аналитическое представление композиции движений точек ломаной имеет вид  $f_2 \circ f_1$ :

$$f_1 : \begin{cases} x' = a + x \\ y' = b + y \end{cases}$$

$$f_2 : \begin{cases} x'' = x' \cos j - ey' \sin j + a_0 \\ y'' = x' \sin j + ey' \cos j + b_0 \end{cases} \Rightarrow$$

$$f_2 \circ f_1 : \begin{cases} x'' = (x+a) \cos j - e(y+b) \sin j + a_0 \\ y'' = (x+a) \sin j + e(y+b) \cos j + b_0 \end{cases} \quad (6),$$

где  $f_1$  – параллельный перенос на вектор  $\vec{p}(a; b)$ ;

$f_2$  – поворот вокруг точки  $M(a_0, b_0)$  на угол  $j$ . При этом  $e = \pm 1$  в зависимости от того, имеет место движение I или II рода, то есть, изменяет ли движение ориентацию плоскости.

Рассмотрим динамику изменения рабочей позы учащегося на примере постепенного перехода в положение «наклон туловища вперед» при наклоне сегмента  $OB$  на  $30^0$ . Тогда, используя формулы композиции движений, находим новые координаты точки  $B \rightarrow B'$ :

$$f_2 \circ f_1 : \begin{cases} x'' = |-l_2 \cos b \cos 30^0| - |l_2 \sin b \sin 30^0| \\ y'' = |-l_2 \cos b \sin 30^0| + |l_2 \sin b \cos 30^0| \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} x'' = |-0,999l_2 \cdot 0,154| - |0,044l_2 \cdot 0,988| \\ y'' = |-0,999l_2 \cdot 0,988| + |0,044l_2 \cdot 0,154| \end{cases} \Rightarrow$$

$$\begin{cases} x'' = 0,154l_2 - 0,043l_2 \\ y'' = 0,987l_2 + 0,007l_2 \end{cases} \Rightarrow B'(0,11l_2; 0,994l_2) \quad (7)$$

Аналогичным образом находятся и другие вершины ломаной. В специальной литературы отмечается, что при изучении изменения положения отдельных межпозвоночных дисков рациональнее всего использовать полярную систему координат, что существенно упрощает расчеты (рис.6). Например, точка  $B$  в полярной системе имеет координаты  $B(l_2, b)$ , где  $b = 110^0 = \frac{11}{18}p$ . Тогда при повороте вокруг точки  $O$  на  $30^0$  она перемещается по кривой  $r_2 = l_2$ . В этом случае описанная композиция движений принимает вид движения:

$$f_1 : \begin{cases} r = r \\ b = b - j' \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} r = l_2 \\ b = \frac{11}{18}p - \frac{p}{6} \end{cases} \Rightarrow B\left(l_2, \frac{4}{9}p\right) \quad (8)$$

Таким образом, изучая динамику рабочей позы в процессе учебной деятельности, подставляя значения элементарных углов наклона отделов позвоночного столба в начале, середине и конце учебного занятия, можно определить как местоположение рассматриваемых анатомических точек, так и дать количественную оценку изменений его сагиттальных изгибов: шейного и поясничного лордоза, а также грудного кифоза.

### Выводы

1. В результате анализа специальной литературы и собственных исследований нами были изучены наиболее типичные неправильные рабочие позы студентов при работе за компьютерами. Установлено, что под эталонной рабочей позой сидя принято понимать такое положение тела, при котором спина и шея выпрямлены, ноги стоят на полу при прямом угле сгиба в коленных суставах, угол сгиба в локтевых суставах же прямой, такую рабочую позу следует признать оптимальной и рекомендовать как эталонную, в том числе и при организации учебных занятий в компьютерном классе. Определив элементарные углы наклона позвоночного столба:  $a^1 = 20^0$ ,  $b^1 = 20^0$ ,  $g^1 = 15^0$ ,  $d^1 = 30^0$ , мы разработали математическую модель рациональной позы за компьютером, которая имеет вид (4) в сагиттальной и вид (5) во фронтальной плоскостях.
2. Проведенные исследования показали, что, не смотря на выполнение эргономических требований при работе за компьютером студенты в начале занятия принимают рабочую позу, близкую к эталонной, но в течение времени она изменяется в сторону неправильной. Выявлены типичные ошибки, встречающиеся при выборе рабочей позы, характеризующиеся изменением углов наклона головы и туловища, а также определен механизм создания механической нагрузки на межпозвоночные диски и установлено, что при наклоне туловища модуль абсциссы центра масс увеличивается, вследствие чего увеличивается плечо силы тяжести, что в связи с равновесием рассматриваемой системы «учащийся-компьютер» приводит к значительному увеличению силы мышц, разгибающих позвоночный столб, и, как следствие, увеличению силы, действующей на межпозвоночный диск.
3. Основываясь на данных специальной литературы и результатах собственных экспериментальных исследований, нами была разработана математическая модель изгибов позвоночного столба относительно сагиттальной плоскости при рациональной статической позе человека. Так, для определения давления на  $i$ -тый межпозвоночный диск, эксперту предлагается использовать предложенный метод координат, для чего по рентгенограмме необходимо построить биосхему, найти координаты центра масс всех вышележащих сегментов от исследуемого межпозвоночного диска, измерить плечо силы тяжести и подставить известные данные (вес сегментов тела, выше лежащих от рассматриваемого межпозвоночного диска, плечо силы антигравитационных мышц спины), а также данные, полученные в результате вычислений, в формулу (1).
4. Предложенный метод построения математических моделей статических поз учащихся открывает перспективы для моделирования и изучения предельных нагрузок на позвоночный столб и отдельные межпозвоночные диски в практике физического воспитания и в области эргономической биомеханики. При этом в зависимости от задач, стоящих перед исследователем, следует использовать декартовую или

полярную систему координат, а именно, при изучении изменения местоположения отдельных сегментов позвоночного столба, принимаемых за прямые, оптимальным будет использование декартовой системы координат (3), а при изучении изменения местоположения отдельных межпозвоночных дисков, принимаемых за точки, рациональнее использовать полярную систему координат(8).

Дальнейшее исследование необходимо направить на обобщение и систематизацию полученных результатов разработкой практических рекомендаций, направленных на профилактику нарушений осанки и их последующее внедрение в учебный процесс.

#### Литература

1. Антропова Т. Не разгибая спины // "Карьера" № 11, 2001.
2. Аруин Ф.С., Зациорский В.М. Эргономическая биомеханика- Москва: Машиностроение.- 1989.- 251 с.
3. Біомеханіка спорту. Навч. посіб. За редакцією А.М. Лапутіна // Київ: Олімпійська література.- 2005.- 318 с.
4. Демирчоглян Г.Г. Компьютеры и здоровье / – М.: Лукоморье, Новый Центр, 1997. – 254 с.
5. Козюков Е.В. Биомеханическое определение пространственного положения позвоночного столба у детей // С. 74-77.
6. Рок Ц.М. Функциональные заболевания опорно-двигательного аппарата и их коррекция по методу Брюггера // ЛФК и Массаж. – 2003. - №3. – С.28-32.
7. Подистова Е.А. //Компьютеры и здоровье [http://www.celt.ru/articles/art/art\\_58.phtml](http://www.celt.ru/articles/art/art_58.phtml), 2006.
8. Носко Н.А. Изучение формирования позвоночного столба человека // <http://lib.sportedu.ru/Books/XXPI/2002n5/p53-57.htm>, 2006.
9. Нечаев В. И. Функциональная анатомия позвоночника глазами мануального терапевта и нормального анатома.- 2006 // <http://www.fineprint.com>
10. Строение и функции позвоночника//[http://sci-rus.com/for\\_patients/spine.htm](http://sci-rus.com/for_patients/spine.htm)
11. <http://comp-doctor.ru/hands/hands.php>, 2007.

Поступила в редакцию 14.05.2007г.