

М.И. Вовк, Е.Б. Галян, В.В. Иванов

ИНФОРМАЦИОННАЯ ТЕХНОЛОГИЯ ДИАГНОСТИКИ И КОРРЕКЦИИ НАРУШЕНИЙ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ОРИЕНТАЦИИ ПОЗВОНОЧНИКА

Рассмотрены технология и структурно-функциональная модель программно-аппаратного комплекса диагностики и коррекции нарушений вертикальной ориентации позвоночника «МИОБАЛАНС» на базе метода биологической обратной связи (БОС). В качестве БОС используется электромиограмма, ее зрительное и слуховое отображение. Приведены результаты исследований информативных показателей тонуса мышц спины, которые отвечают за вертикальную ориентацию позвоночника.

Введение. Нарушение осанки является наиболее распространенным функциональным нарушением опорно-двигательного аппарата. В последнее десятилетие отмечается рост вертеброгенной патологии среди детей и подростков. Причины — повсеместное распространение компьютеров и связанное с этим уменьшение двигательной активности школьников, студентов, а также распространение новой профессии — офисный работник, которая предполагает продолжительное соблюдение сидячей рабочей позы, часто неправильной. Восстановительное лечение и профилактика дефектов осанки остается одной из наиболее актуальных проблем современной ортопедии. Это связано не только с распространенностью заболевания, но и с трудностями в своевременной диагностике и лечении больного [1–3].

Постановка задачи. В вертебологии различают две группы нарушений осанки: изменение физиологических изгибов в сагиттальной (передне-задней) плоскости и искривление позвоночника во фронтальной плоскости (сколиотическая осанка, сколиоз).

При нарушениях осанки в сагиттальной плоскости происходит изменение правильных соотношений физиологических изгибов позвоночника: увеличение или уменьшение грудного кифоза, усиление лордоза, сглаживание физиологических изгибов.

Дефекты осанки во фронтальной плоскости не подразделяются на отдельные виды, только на степени, характеризующие глубину патологии. Для сколиотической осанки характерно нарушение симметрии между правой и левой половинами туловища: позвоночный столб представляет собой дугу, обращенную вершиной вправо или влево; определяется асимметрия треугольников талии, пояса верхних конечностей (плечи, лопатки), голова наклонена в сторону. Симптомы нарушения осанки могут быть различны: от чуть заметных до резко выраженных.

Сколиоз на начальной стадии развития процесса (1-я степень), как правило, характеризуется теми же изменениями, что и сколиотическая осанка. Однако при сколиозе, кроме бокового искривления позвоночника, наблюдается скручивание позвонков вокруг вертикальной оси (торсия). Об этом свидетельствует наличие реберного выбухания по задней поверхности грудной клетки и мышечного валика в поясничной области.

Объектом данного исследования являются дефекты осанки во фронтальной плоскости, характеризующиеся боковыми искривлениями позвоночника — сколиотическая осанка и начальные формы сколиоза.

Основной причиной нарушения биодинамики позвоночника и его морфофункциональных характеристик является изменение пространственной организации тела человека, вследствие чего позвоночный столб не выдерживает излишних механических нагрузок и в наиболее ослабленных местах, деформируется и искривляется [4, 5]. Боковое искривление позвоночника при функциональных нарушениях осанки может быть исправлено напряжением мускулатуры. Консервативные методы лечения сколиотической осанки и начальных форм сколиоза включают в себя применение лечебной физкультуры, массажа, плавания, электростимуляции мышц в покое и использование корсетов различной модификации. Однако следует учесть, что лечебная физкультура требует длительного применения и не позволяет в короткие сроки укрепить мышечный корсет. Электростимуляция мышц в покое достаточно быстро создает мышечный корсет. Однако данная методика полностью отделена от двигательного акта и не может влиять на выработку необходимого двигательного стереотипа работы мышц. С учетом вышеизложенного в технологии коррекции сколиотической осанки целесообразно рассмотреть два этапа коррекции нарушений вертикальной ориентации позвоночника:

- этап 1: выработка правильного стереотипа работы мышц, формирующих осанку, основанная на диагностике дефектов осанки;
- этап 2: укрепление мышечного корсета тренировкой, в том числе на базе целенаправленной программной электростимуляции соответствующих мышц.

Предметом настоящего исследования является 1-й этап, т.е. выработка правильного стереотипа работы мышц, формирующих осанку.

Для формирования двигательного стереотипа работы соответствующих мышц, устраняющего сколиотическую осанку может быть использован метод биологической обратной связи (БОС). БОС-метод — это метод прямого обучения центральной и/или вегетативной нервной систем с целью нормализации их деятельности. БОС-метод реализует принцип «физиологического зеркала», роль которого выполняет специальное оборудование и программное обеспечение, благодаря чему пациент получает возможность в буквальном смысле видеть и слышать свои физиологические свойства. Например, объективная регистрация электромиографического сигнала с исследуемых мышц, обработка и вывод его в приемлемом для пациента виде способствуют развитию навыков самоконтроля и саморегуляции биоэлектрической активности мышц. Поэтому теоретически оправданным является использование БОС-метода для коррекции нарушений вертикальной ориентации позвоночника, обусловленных асимметрией напряжения мышц. БОС-терапию для коррекции осанки, лечения сколиоза и формирования мышечного корсета реализует, например, программно-аппаратный комплекс «ОСКОР» [6]. Визуализация электрической активности мышц спины и управление осуществляется посредством компьютера. Задача

пациента состоит в поддержании симметричного напряжения мышц на заданном врачом уровне. Программно-аппаратный комплекс «ОСКОР» является стационарным, что осложняет его широкое применение для массового профосмотра среди разных категорий населения, с целью выявления на ранних стадиях вертеброгенной патологии.

В связи с изложенным, а также с учетом роста вертеброгенной патологии, в особенности у детей и подростков, поставлена **цель: разработать информационную технологию оперативной объективной диагностики функционального состояния опорно-двигательной системы и коррекции нарушений вертикальной ориентации позвоночника, реализованную на базе портативного программно-аппаратного комплекса, который прост в использовании, доступен для занятий как амбулаторно, так и в школах, вузах, офисах и в домашних условиях под наблюдением семейного врача.**

Таким образом, **постановка задачи 1-го этапа исследований** может быть сформулирована следующим образом: **разработать информационную технологию диагностики и коррекции дефектов осанки во фронтальной плоскости, направленную на формирование двигательного стереотипа работы соответствующих мышц, устраняющего сколиотическую осанку.**

Для решения поставленной задачи необходимо: провести обоснование выбора информативных показателей нарушений вертикальной ориентации позвоночника, разработать структурно-функциональную модель портативного программно-аппаратного комплекса диагностики и коррекции вертикальной ориентации позвоночника, провести пилотные исследования информативных показателей тонуса мышц спины на базе программно-аппаратного комплекса.

Результаты. *Вертикальная ориентация позвоночника как отражение тонуса симметричных мышц.* Существуют два вида двигательных функций: целенаправленные движения и поддержание положения (позы), в частности сохранение вертикального положения в гравитационном поле Земли. Для сохранения равновесия в вертикальном положении в процессе филогенеза выработалась сложная, но в то же время эффективная система тонкого автоматического регулирования положения тела — система постурального контроля. Постуральный контроль (сохранение равновесия любыми путями) осуществляется с помощью антигравитационной (постуральной) мускулатуры. К ней относятся: мышцы спины, таза, шеи, живота, грудные и бедренные мышцы. В систему антигравитационной мускулатуры также входят паравертебральные мышцы, которые непосредственно крепятся к позвоночнику. Исполняющим звеном в формообразовании деформации позвоночного столба являются именно паравертебральные мышцы.

Функциональное состояние любой мышцы опорно-двигательного аппарата можно охарактеризовать следующими информативными показателями: сила мышечного напряжения, эластичность и растяжимость, степень утомляемости, величина мышечного тонуса. Даже в состоянии полного покоя скелетная мышца сохраняет свою эластичность и

определенную степень напряжения (тонус). Эти биомеханические показатели хорошо отражает электромиографический сигнал. Для паравертебральных мышц в норме наблюдается мышечное равновесие, т.е. равенство величин тонусов симметричных относительно позвоночника мышц. При патологических процессах происходит неравномерное снижение функциональных свойств мышц на правой и левой сторонах туловища, связанное с неодинаковыми биомеханическими условиями их работы. Электромиографические (ЭМГ) исследования показали, что растянутые мышцы выпуклой стороны генерируют более высокую по амплитуде биоэлектрическую активность, чем мышцы вогнутой стороны, находящиеся в состоянии относительной контрактуры. Это способствует наклону позвоночника в сторону ослабленных мышц и созданию благоприятных биомеханических условий для дальнейшего прогрессирования деформации позвоночника [7]. Таким образом, величина мышечного тонуса, выраженная в виде электромиографического сигнала от симметричных мышц спины, может выступать информативным показателем для диагностики нарушений вертикальной ориентации позвоночника, а также показателем результативности коррекции нарушений. Для получения необходимой информации используют инструменты для съема, обработки и последующего вывода ЭМГ-сигнала симметричных паравертебральных мышц в приемлемой для анализа форме.

Структурно-функциональная модель программно-аппаратного комплекса «МИОБАЛАНС». Электромиография как исследовательский прием нервно-мышечной системы путем регистрации электрических потенциалов мышц помогает объективно диагностировать повреждение мышц и нервной системы, двигательных нарушений, а также дает возможность контролировать процесс восстановления движений. В сочетании с методом биологической обратной связи информация, полученная с помощью электромиографии, может служить не только материалом для анализа, но и инструментом коррекции. Сигнал электромиограммы имеет шумовой характер с широким спектром, а потому является трудным для визуального анализа и требует специальной обработки. Внедрение в медицинскую сферу персональных компьютеров (ПК) дает возможность освободиться от многих рутинных методов «ручного анализа», применять автоматизированные математические методы обработки, сохранять большие массивы информации и т.д.

Программно-аппаратный комплекс диагностики и коррекции вертикальной ориентации позвоночника «МИОБАЛАНС» представляет собой классическую комплексную биотехническую систему, включающую в себя объект исследования (симметричные паравертебральные мышцы), исследователя (непосредственно пациента и врача) и техническую подсистему, в том числе ПК, объединенные единым алгоритмом [8]. Структурно-функциональная модель программно-аппаратного комплекса «МИОБАЛАНС» представлена на рис. 1.

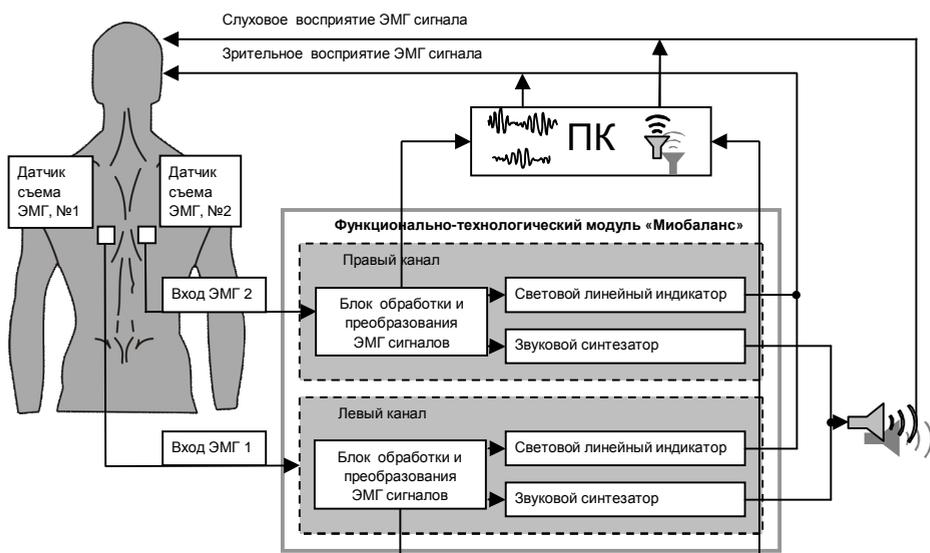


Рис. 1. Структурно-функциональная модель программно-аппаратного комплекса «МИОБАЛАНС», реализующего информационную технологию диагностики и коррекции дефектов осанки, направленную на выработку правильного двигательного стереотипа

Техническая подсистема комплекса — электронный функционально-технологический модуль «Миобаланс» (рис. 2). Модуль «Миобаланс» осуществляет усиление, обработку, преобразование и представление ЭМГ-сигнала пациенту в виде формализованных световых и звуковых сигналов, а также подачу ЭМГ-сигнала в ПК. Регистрация биоэлектрической активности мышц происходит посредством накожных электродов. ЭМГ-сигналы с симметричных мышц спины поступают на входы двух каналов, где происходит их усиление, обработка и преобразование в световые и звуковые сигналы, которые, в свою очередь, служат инструментом для зрительного и слухового анализа и контроля тонуса симметричных мышц. При выраженной асимметрии уровней ЭМГ-сигналов пациент произвольно сокращает симметричные мышцы, визуально контролируя уровень произвольных движений, и стремится к достижению одинакового уровня тонуса мышц с помощью зрительной и слуховой обратной связи. Тренировка пациента направлена на достижение мышечного равновесия и закрепление правильного двигательного стереотипа.

Электронный функционально-технологический модуль «Миобаланс» обеспечивает такие функции:

- восприятие и усиление ЭМГ-сигналов мышц человека двумя каналами в режиме реального времени при диапазоне регистрации 20–1000 Гц;
- световой и звуковой контроль уровня текущей ЭМГ;
- нормирование уровня усиленных аналоговых сигналов ЭМГ для подачи на линейные входы звуковой платы ПК и трансляцию сигнала в модуль с ПК через линейные выходы звуковой платы;

- подачу аналогового ЭМГ-сигнала с двух каналов на USB-порт ПК через внешний USB-аудиоадаптер.

Оперативный контроль текущего уровня ЭМГ-сигнала осуществляется посредством его световой индикации с помощью линейных индикаторов отдельно по каждому каналу, а также синтезированного звукового сопровождения. Синтезатор является градиентным и реагирует на смену текущего уровня сигнала повышением тона звука, а при удержании уровня неизменным звук отсутствует.

Каналы восприятия усиленного ЭМГ-сигнала персональным компьютером:

- звуковая карта ПК;
- внешний USB-аудиоадаптер, имеющий все необходимые узлы для восприятия сигнала, преобразования его в цифровую форму и трансляцию в ПК по протоколу USB.

Структурно-функциональная схема электронного модуля «Миобаланс», представленная на рис. 2, содержит следующие функциональные блоки:

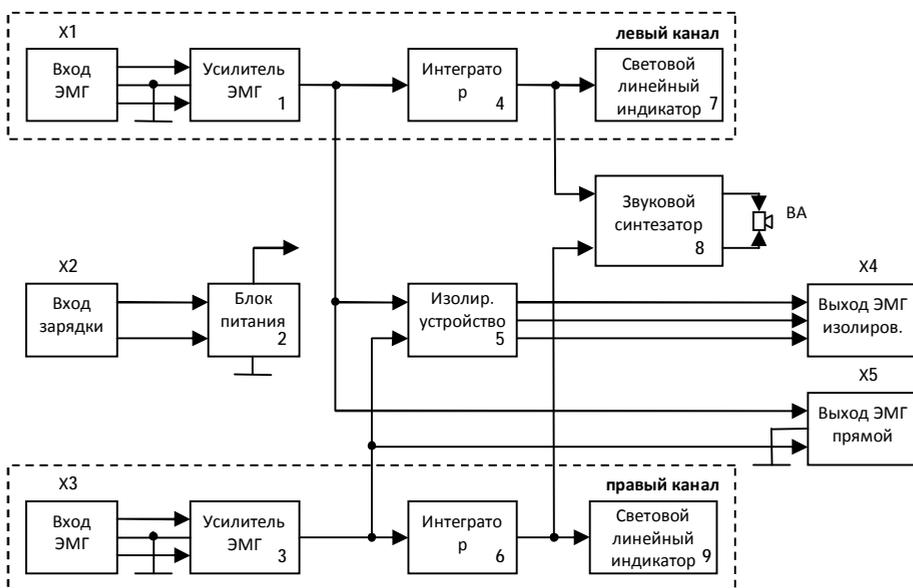


Рис. 2. Структурно-функциональная схема электронного функционально-технологического модуля «Миобаланс»

1, 3 — усилители ЭМГ — обеспечивают дискриминацию синфазных помех, регистрацию и усиление ЭМГ;

4, 6 — интеграторы — обеспечивают выделение огибающей ЭМГ;

7, 9 — световые столбиковые линейные индикаторы — обеспечивают визуализацию уровня огибающей ЭМГ;

8 — звуковой синтезатор — обеспечивает формирование музыкального звуоряда, отдельно для каждого канала, зависящего от уровня ЭМГ (выше уровень — выше тон);

5 — изолирующее устройство — обеспечивает гальваническую изоляцию выходных сигналов ЭМГ правого и левого каналов от конечного пользователя;

2 — блок питания — обеспечивает автономную работу модуля от Li-Ion аккумулятора.

Техническая подсистема комплекса — персональный компьютер. Кроме световых индикаторов и звукового синтезатора, встроенных непосредственно в функционально-технологический модуль, усиленные и обработанные ЭМГ-сигналы подаются на персональный компьютер, где происходит дополнительная обработка и преобразование информации при помощи современных программных средств. Так как частотный диапазон ЭМГ-сигнала входит в звуковой диапазон, для его анализа и обработки применяется одна из существующих программ обработки сигналов сложной формы звукового диапазона. Сравнительный анализ программного обеспечения для компьютерного анализа сигналов сложной формы показал, что все программы имеют универсальный набор инструментов для анализа и обработки сигналов звуковой частоты: осциллограф, анализатор спектра, генератор звуковой частоты и др. Были рассмотрены следующие программы: PAS ANALIS CENTER, PINGUIN AUDIO METER, Spectrum Lab, SPL-LAB, Visual Analyser. Программа, которая наиболее соответствует поставленной задаче, — Visual Analyser (рис. 3). Это программное обеспечение, в реальном времени моделирует набор инструментов для обработки и анализа звуковых сигналов: двухканальный осциллограф, анализатор спектра с отображением амплитуды и фазы, возможность вычисления коэффициента корреляции сигналов с двух каналов, запись и хранение сигналов и др.

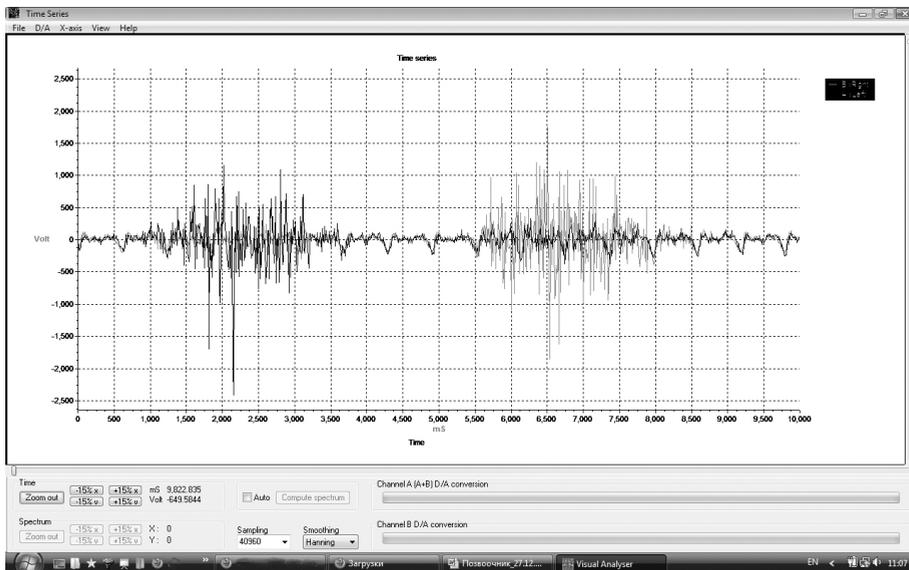


Рис. 3. Визуализация ЭМГ-сигналов симметричных паравертбральных мышц с помощью программы Visual Analyser при последовательном произвольном сокращении

Пилотные исследования на базе комплекса. С помощью программно-аппаратного комплекса «МИОБАЛАНС» были проведены исследования по подбору наиболее информативных паравертебральных мышц, характеризующих вертикальную симметрию хребта. В исследовании принимали участие восемь человек в возрасте от 22 до 55 лет, 50 % мужчины, 50 % женщины. Никто из участников не имел выраженных вертебральных патологий. Исследования были направлены на получение информативных ЭМГ-сигналов от симметричных мышц в тонусе и при произвольных сокращениях (рис. 4).

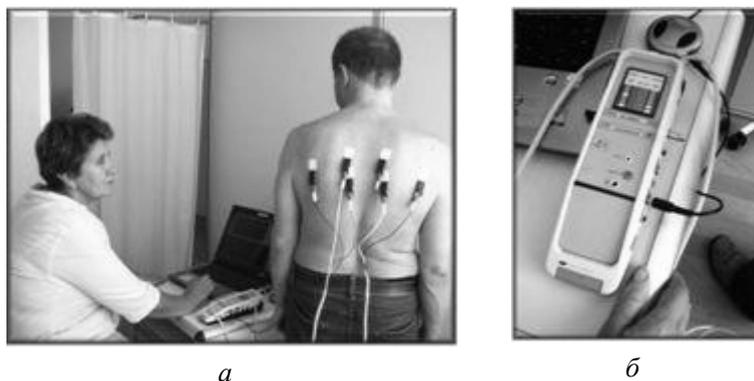


Рис. 4. Исследование уровня ЭМГ-сигналов от симметричных мышц спины на базе программно-аппаратного комплекса «МИОБАЛАНС»: *а* — внешний вид комплекса, *б* — электронный функционально-технологический модуль «Миобаланс»

В результате исследования были выбраны трапециевидная и широчайшая мышцы спины, мышца, выпрямляющая позвоночник; определена топология отведения ЭМГ-сигналов. Информативность обусловлена большими размерами мышц, поверхностным залеганием и, как результат, возможностью получения электромиографических сигналов с амплитудой, достаточной для анализа. Дадим краткое описание этих мышц, их функций, точек отведения ЭМГ-сигналов (рис. 5) [9, 10].

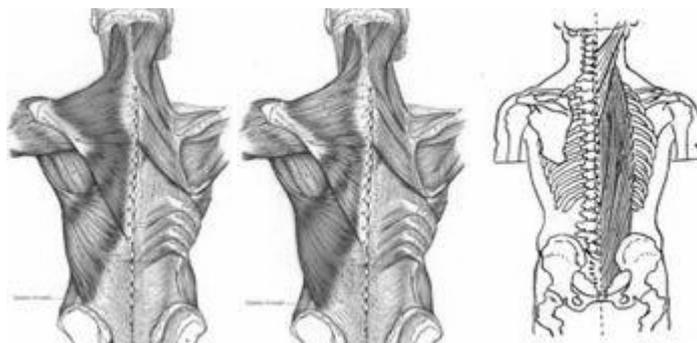


Рис 5. Мышцы спины: *а* — трапециевидная мышца спины, *б* — широчайшая мышца спины, *в* — мышца, выпрямляющая позвоночник

Трапециевидная мышца, *m. trapezius*, — плоская широкая мышца, занимает поверхностное положение в задней области шеи и верхнем отделе спины. *Функция:* при сокращении всех пучков мышцы лопатка приближается

к позвоночному столбу; при сокращении верхних пучков — поднимается, а нижних — опускается. При фиксации лопатки обе трапецевидные мышцы тянут голову назад, а при одностороннем сокращении мышца наклоняет голову в ту же сторону.

Широчайшая мышца спины, *m. latissimus dorsi*, плоская. Мышца залегает поверхностно в нижнем отделе спины, но ее верхние пучки в начальной части прикрыты трапецевидной мышцей. *Функция*: приводит плечо к туловищу и тянет верхнюю конечность назад к срединной линии, вращая ее вовнутрь. При укрепленной верхней конечности приближает к ней туловище или принимает участие в смещении нижних ребер вверх при дыхательном движении, являясь, таким образом, вспомогательной дыхательной мышцей.

Мышца, выпрямляющая позвоночник, *m. erector spinae*, является самой мощной и длинной мышцей спины; она заполняет на всем протяжении спины углубление по бокам от остистых отростков до углов ребер. Она плотно фиксирована к позвоночнику, и поэтому какие-либо смещения ее вне зависимости от позвоночника невозможны. *Функция*: вся мышца, выпрямляющая позвоночник, при двустороннем сокращении является мощным разгибателем позвоночного столба, удерживает туловище в вертикальном положении. При одностороннем сокращении наклоняет позвоночный столб в соответствующую сторону. Верхние пучки мышцы тянут голову в свою сторону. Частью своих пучков мышца опускает ребра.

Выводы. Информационная технология диагностики и коррекции нарушений вертикальной ориентации позвоночника включает в себя два этапа:

- 1-й этап — выработка правильного стереотипа работы мышц, формирующих осанку, основанная на диагностике дефектов осанки;
- 2-й этап — укрепление мышечного корсета.

В рамках исследований, направленных на реализацию первого этапа, получены следующие результаты:

- проведенный выбор информативных показателей диагностики нарушений осанки во фронтальной плоскости и оценки результативности коррекции нарушений показал, что таким показателем является величина тонуса симметричных паравертебральных мышц спины, выраженная в виде электромиографического сигнала;

- разработанный портативный программно-аппаратный комплекс «МИОБАЛАНС» диагностики, коррекции вертикальной ориентации позвоночника обеспечивает выработку правильного динамического стереотипа баланса мышечной активности паравертебральных мышц на базе биологической обратной связи по ЭМГ-сигналу;

- разработанная техническая подсистема комплекса — электронный функционально-технологический модуль «Миобаланс» обеспечивает восприятие, усиление, обработку и преобразование ЭМГ-сигнала в световой и звуковой сигналы, а также передачу ЭМГ-сигнала в ПК для его последующего анализа;

- использованная для обработки ЭМГ-сигнала персональным компьютером программа Visual Analyser показала свое соответствие поставленным задачам;

- исследования уровня ЭМГ-сигналов от симметричных мышц спины на базе программно-аппаратного комплекса «МИОБАЛАНС» показали, что наиболее «информативными» мышцами для диагностики нарушений сколиотической осанки и коррекции вертикальной ориентации позвоночника являются: мышца, выпрямляющая позвоночник, трапецевидная и широчайшая мышцы спины. Определена топология отведения информативных ЭМГ-сигналов от этих мышц.

Решение практических задач второго этапа информационной технологии коррекции нарушений вертикальной ориентации позвоночника — укрепление мышечного корсета на базе целенаправленной программной электростимуляции соответствующих мышц — является предметом дальнейших исследований.

1. *Wong H.K., Hui J.H., Rajan U., Chia H.P.* Idiopathic scoliosis in Singapore schoolchildren: a prevalence study 15 years into the screening program // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005 May 15 — **30** (10). — P. 1188-96.
2. *Поздникин Ю.И., Соловьева К.С., Давыдова Т.А.* Ортопедическая заболеваемость и организация специализированной помощи детям Санкт-Петербурга // *Вестник травматологии и ортопедии: Ежеквартальный науч.-практич. журнал*. — 2002. — № 1. — С. 3–6.
3. *Бойко В. В., Єрошкіна О.О., Чобітько С.М.* Аналіз поширеності сколіозів серед дітей шкільного віку за даними Полтавського обласного санаторію для дітей із порушеннями опорно-рухового апарату в 2009-2011 рр. // *Травма*. — 2012. — **13**, № 2. — С. 111–113.
4. *Кашуба В.А.* Биомеханика осанки. — Київ: Наук. світ, 2002. — 278 с.
5. *Потапчук А.А., Дидур М.Д.* Осанка и физическое развитие детей, программы диагностики и коррекции нарушений. — СПб.: Речь, 2001. — С. 4–82.
6. Патент № 2061508 Росия А61M21/00, А61В5/0482. Способ коррекции нервно-мышечных дисфункций опорно-двигательного аппарата и расстройств аккомодации / Михайленок Е.Л. (Россия); заявитель и патентообладатель Михайленок Е.Л. — № 93014297/14; заявл. 22.03.1993; опубл. 10.06.1996, Бюл. № 16.
7. *Ильясевич И.А., Казарин О.С., Шалатонина О.И., Шалатонин О.В.* Электродиагностика и электростимуляция мышц туловища у детей, больных сколиозом. Методические рекомендации. — Минск: ИВЦ Минфин БССР, 1991. — 20 с.
8. Інформаційні технології в біології та медицині. Курс лекцій: Навч. посібник / В.І. Гриценко, А.Б. Котова, М.І. Вовк і др. — Київ: Наук. думка, 2007. — 381 с.
9. *Синельников Р.Д., Синельников Я. Р.* Мышцы и фасции шеи // *Атлас анатомии человека*. — 2-е изд. — М.: Медицина, 1996. — Т. 1. — 344 с.
10. *Привес М.Г., Лысенков Н.К., Бушкович В.И.* Мышцы и фасции шеи // *Анатомия человека*. — 11-е изд. — СПб.: Гиппократ, 1998. — 704 с.

Международный научно-учебный центр
информационных технологий и систем
НАН Украины и Министерства образования
и науки, молодежи и спорта Украины, Киев

Получено 28.12.2012