

УДК 611.9/796

Сак А. Е., к. б. н.

Харьковская государственная академия физической культуры

**АНАТОМО-БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА И СПОРТ**

**Аннотация.** На основе литературных и собственных данных проведен анализ анатомио-биомеханических перестроек тела человека, направленных на обеспечения вертикального положения. Обсуждается роль перестройки скелета и скелетных мышц для достижения этих целей. Среди таких перестроек необходимыми являются биомеханически рациональное формообразование скелета, направленное на его адаптацию к восприятию сил гравитации, приобретение структурных особенностей, которые входят в ряд необходимых таксономических индикаторов прямохождения. Важнейшей антигравитационной системой тела прямоходящего человека являются скелетные мышцы. Особую роль в сохранении вертикального положения позвоночника играют паравертебральные мышцы, которые обеспечивают устойчивость позвоночного столба и выступают в функциональном единстве с другими мышцами. Антигравитационными структурами является также ряд мышц, определяющих соответствие сегментов тела человека вертикальным нагрузкам. Все эти мышцы требуют особого внимания в связи с хроническими перегрузками, особенно в спорте.

**Ключевые слова:** тело человека, структурное обеспечение вертикального положения.

**Введение.** Одним из важнейших условий взаимодействия человека и внешней среды является способность сохранять равновесие в вертикальном положении.

Вертикализация ребенка – длительный процесс, состоящий из последовательных фаз, позволяющих преодолеть силы гравитации, начиная с подъема головы, а затем – появления опоры рук (16). Условием и следствием вертикализации тела является формирование изгибов позвоночника. Когда ребенок начинает держать головку, формируется шейный лордоз, начинается сидеть – грудной кифоз, а когда начинает стоять и ходить – поясничный лордоз. Все изгибы позвоночника имеются к году, но развитие позвоночника продолжается до конца второй декады жизни и даже позже [2; 8; 21].

Вертикальное положение тела человека как биомеханической системы отличается крайней неустойчивостью в связи с малой площадью опоры [12], которая с каждым годом ребенка сокращается [2].

Интегративный мышечный тонус, ответственный за активность позы мышечной системы, создается управляющими механизмами центральной нервной системы. При сохранении позы в зоне равновесия неизбежны колебания тела: абсолютных поз, в которых не происходило бы некоторых изменений суставных углов, и соответствующих длин и напряжений мышц, не существует [1]. Равновесию тела, безусловно, способствует зрительная информация об окружающей обстановке и основополагающими факторами являются проприоцепция и информация от рецепторов вестибулярного аппарата [8]. Именно проблеме регуляции статики и динамики тела уделяется особое внимание исследователями [4; 10; 11].

Но надежная адаптация к условиям прямохождения требует соответствия всех систем организма и, прежде всего, опорно-двигательного аппарата, силам гравитации. Это достигалось структурными перестройками всех отделов аппарата на этапах филогенеза.

**Цель работы:** на основе данных литературы и собственных данных рассмотреть роль скелета и ске-

летных мышц в вертикализации тела человека в онтогенезе и в условиях физических перегрузок.

**Материал и методы исследования:** анализ литературных и собственных данных.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Анализ литературных и собственных данных показывает, что обеспечение устойчивости вертикального положения тела в филогенезе и в онтогенезе представляет собой сложную задачу. В эволюции включение механизмов, обеспечивающих эти процессы, активировалось на этапах, когда освободились верхние конечности, сформировалась новая операционно-исполнительная система «мозг-рука» и расширился мир управляемых взаимодействий тела с внешней средой [9].

Высокая роль в вертикализации тела принадлежит костям и их соединениям, которые изменяются под влиянием тяги скелетных мышц [4; 6; 8; 14]. Со стороны скелета адаптация к осевым нагрузкам потребовала изменения положения головы, позвоночника, плечевого пояса, таза, костей свободных верхних и нижних конечностей.

На уровне позвоночного столба адаптация к осевым нагрузкам потребовала моделирование структуры позвонков, формирование изгибов позвоночника и удержание свойственной человеку «мелодии» его изгибов за счет системы связок, мембран, межпозвонковых дисков, околопозвоночных мышц [15].

Продольная ось таза изменила положение с горизонтального на вертикальное. В бедренной кости уменьшился угол антефлексии, увеличился угол ретрофлексии, произошло «скручивание» большеберцовой кости и стопы, что способствовало сохранению вертикального положения и передвижения [3] и предохраняет от возможных повреждений, в том числе в спорте. Вторичные мышцы, которые могли бы обеспечивать движения пояса нижних конечностей, не развиваются в связи с тем, что таз связан с крестцом крестцово-подвздошным суставом – тугим, малоподвижным, однако высокого развития достигли ягодичные мышцы, обеспечивающие удержание тела в вертикали, из которых одна из самых значимых для прямохождения – средняя ягодичная, для прямохождения



ния – большая ягодичная мышцы. На свободной нижней конечности высокого развития получили мышцы, приводящие и супинирующие бедро, мышцы-разгибатели бедра, мышцы-сгибатели голени и мышцы, удерживающие своды стопы.

В процессе развития природа обеспечивает биомеханически рациональное формообразование скелета, адаптируя его к восприятию сил гравитации, без чего невозможно нормальное стояние и передвижение [12; 17; 18]. Потребовалось не только сформировать функциональные изгибы позвоночника столба, но и поменять положение лопаток из сагиттальной плоскости во фронтальную, S-образно изогнуть ключицу, поднять центр тяжести тела, изменить положение крестца. Так, крестец, прямой у новорожденных, при осевой нагрузке отклоняется основанием кпереди, образуя промонториум [2], а изгибы позвоночника способствуют стабилизации вертикальной позы тела, придавая ей надежность и устойчивость.

Кроме того, необходимо было поднять центр стопы над опорой, сформировав своды, произвести тибialisацию стопы (т. е. укрепить ее медиальный край) и радиализацию кисти (т. е. укрепить ее латеральный край), расширить дистальную фалангу большого пальца стопы, обеспечить скручивание длинных костей конечностей и добиться ряд других перестроек скелета, которые входят в число таксономических индикаторов прямохождения [17; 18]. Сохранение вертикального положения, осанки связывают, прежде всего, с работой скелетных мышц [1; 5; 7; 12; 13; 15].

В онтогенезе мышцы прошли долгий путь приспособления к условиям прямохождения. Самыми молодыми у человека являются супинаторы на конечностях и мышцы-разгибатели – на туловище. При этом на туловище экстензоры стали сильнее флексоров. На верхней конечности флексоры сильнее экстензоров, пронаторы сильнее супинаторов, аддукторы сильнее абдукторов. На нижней конечности, напротив, экстензоры сильнее флексоров, супинаторы сильнее пронаторов, а аддукторы сильнее абдукторов. В результате, при длительной физической нагрузке, особенно у представителей ряда спортивных специализаций, сегменты верхней конечности устанавливаются в сгибании и пронации, нижней конечности – в разгибании и супинации. Все мышцы, которые удерживают позвоночник и сегменты конечностей против сил гравитации являются антигравитационными. Высока роль мышц в удержании головы, которая составляет до 7% от массы тела. Поэтому целый ряд мышц, удерживающих голову, находятся в перегрузке; среди них постоянно нагружаемыми являются нижняя косая мышца головы, ременная мышца головы и шеи, грудиноключичнососцевидная мышца, верхняя порция трапециевидной мышцы. В спорте эти мышцы также должны быть под постоянным контролем спортсмена, тренера, спортивного врача.

Особую роль в сохранении вертикального положения позвоночника выполняют паравертебральные мышцы. Их особенностью является органическая связь с позвоночником. В результате эти мышцы являются не только функциональным, но и структурным элементом позвоночника, без которого его прочность была бы минимальной [5; 8; 13; 15]. Паравертебральные мышцы функционально подобны растяжкам или вантам корабельной мачты, обеспечивающим устой-

чивость позвоночного столба [13]. Они работают по особым законам: так, глубокие паравертебральные мышцы расслабляются, когда точки их прикрепления сближаются, а напрягаются, когда точки прикрепления удаляются: при *наклоне влево* напрягаются мышцы, расположенные справа от позвоночной оси, и расслабляются мышцы, расположенные слева, а при *наклоне вправо* – наоборот. При стоянии паравертебральные мышцы выполняют удерживающую работу и последовательно расслабляются при сгибании свыше 10–15 градусов [4; 13]. Для обеспечения движения вокруг конкретной оси вращения в суставе требуется реципрокное взаимодействие мышц [22], а при выполнении общих функций мышцы объединяются в пары, группы, спирали [8; 14]. Из мышц туловища позвоночник удерживают также мышцы, переместившиеся с других областей тела (трупнопетальные мышцы), мышцы, переместившиеся своими частями на конечности (трупкофугальные), и собственные, аутохтонные мышцы [8; 12].

Активно участвуя в механизмах защиты позвоночника, паравертебральные мышцы выступают в функциональном единстве с мышцами груди, таза и мышцами, формирующими брюшную пресс. Участвуя в дыхании, удерживая внутренние органы, мышцы брюшного пресса также удерживают в вертикали позвоночный столб, причем снижают нагрузку на поясничный отдел почти на 30% [8; 13]. В результате брюшной пресс выступает как мощная антигравитационная система. В этой системе взаимодействие мышц также сложно и следует фазам дыхания: при вдохе диафрагма напрягается и опускается, а прямые мышцы живота расслабляются; при выдохе – наоборот. То есть эти мышцы выступают как функциональные антагонисты, которые изменяя давление в полостях тела, обеспечивают приток и, особенно, отток (против сил тяжести) крови в условиях прямохождения и прямохождения.

Антигравитационные мышцы, противодействующие силе тяжести, разгибатели спины и ног, сгибатели рук, хорошо выражены у людей, не занимающихся спортом. У спортсменов топография силы зависит от спортивной специализации. Во многих видах спорта обнаружена прямая зависимость между показателями топографии силы и спортивными результатами [23].

В результате постоянной перегрузки антигравитационные мышцы накапливают следы перегрузок, в основе которых – хронический дефицит релаксации [6; 10; 14; 23]. Эти мышцы известны спортсменам и тренерам [9; 23]. Эффективным методом восстановления перегруженных мышц, в том числе в порядке ауторелаксации, является постизометрическая релаксация – релаксация мышц в изометрическом режиме [5; 6; 19; 20].

Под влиянием мышечной тяги эти перестройки наиболее интенсивно идут в первые годы жизни ребенка соответственно требованиям осевых нагрузок [2]. Высокая согласованность работы скелетных мышц – основа локомоций здорового человека. Эта же мышечная согласованность является условием реадaptивных перестроек при наличии проблем здоровья.

#### Выводы:

1. В процессе развития природа обеспечила



биомеханически рациональное формирование скелета человека, который способен адаптироваться к восприятию сил гравитации в условиях вертикального положения тела.

2. Для сохранения выпрямленного положения тела важными являются антигравитационные системы тела, приобретенные в эволюции для противодействия силам гравитации. Это, прежде всего, изгибы позвоночника и свода стопы, укрепленные мышцами спины и конечностей, которые создают мощные разгибающие, а на стопе и сгибающие тяги.

3. Антигравитационные мышцы подвергаются хроническим перегрузкам, что требует знания локализации этих мышц для своевременной диагностики их состояния и восстановления, особенно у спортсменов.

**Перспективы дальнейших исследований** – исследовать особенности мышечных дисбалансов, используя знания о морфо-биомеханических предпосылках перегрузки антигравитационных мышц человека для своевременной диагностики и восстановления этих мышц.

#### Список использованной литературы:

1. Бернштейн Н. А. Общая биомеханика. Основы учения о движениях человека / Н. А. Бернштейн. – М. – 1926.
2. Винарская Е. Н. Проблемы становления статической позы активности в онтогенезе / Е. Н. Винарская, Г. И. Фирсов // Успехи современного естествознания. – 2008. – № 1 – С. 61–62.
3. Гафаров Х. З. Лечение деформаций стоп у детей / Х. З. Гафаров. – Казань : Татарское кн. из-во, 1990. – 176 с.
4. Гурфинкель В. С. Регуляция позы человека / В. С. Гурфинкель, Я. М. Коц, М. Л. Шик. – М. : Наука, 1965. – 256 с.
5. Иваничев Г. А. Мануальная терапия. Руководство. Атлас / Г. А. Иваничев. – Казань. – 1997. – 448 с.
6. Кадырова Л. А. Учет спиралевидного распределения мышечных перегрузок при постизометрической релаксации / Л. А. Кадырова, Я. Ю. Попелянский, Н. Н. Сак // Мануальная медицина. – 1991. – № 1. – С. 5–7.
7. Кашуба В. А. Биомеханика осанки / В. А. Кашуба – К. : Олимпийская литература, 2003. – 280 с.
8. Основы реабилитации двигательных нарушений по методу Козьякина / В. И. Козьякин, Н. Н. Сак, О. А. Качмар, М. А. Бабадаглы. – Львов : Українські технології. – 2007. – 192 с.
9. Лапутин А. Н. Практическая биомеханика / А. Н. Лапутин – К. : Науковий світ, 2000. – 298 с.
10. Лихачев С. А. Возрастные аспекты поструральной функции по данным динамической постурографии / С. А. Лихачев, А. В. Борисенко, А. Н. Качинский // Сборник «Актуальные вопросы неврологии и нейрохирургии». – Минск, 2008. – № 10. – С. 120–127.
11. Магнус Р. Установка тела / Р. Магнус. – Москва : АН СССР, 1962. – 624 с.
12. Николаев Л. П. Руководство по биомеханике в применении к ортопедии, травматологии и протезированию / Л. П. Николаев. – Киев : Гос. мед. изд-во УССР. – 1947. – Ч. 1. – 315 с.
13. Попелянский Я. Ю. Ортопедическая неврология (вертебральная неврология) / Я. Ю. Попелянский // Руководство для врачей в двух томах. Том II. Этиология, патогенез, диагностика, лечение. – Казань : Изд. Казанск. ун-та, 1997. – 488 с.
14. Сак Н. Н. Этюды о функциональных мышечных объединениях (морфологические аспекты мышечных дисбалансов при физических перегрузках) / Н. Н. Сак, А. Е. Сак // Слобожанський науково-спортивний вісник : [наук.-теор. журн.]. – Харків : ХДАФК, 2002. – № 5. – С. 146–150.
15. Сак Н. Н. Структурні передумови дистрофічних уражень горбистості великогомілкової кістки спортсменів / Н. М. Сак, Б. І. Сіменач, А. Е. Сак // Слобожанський науково-спортивний вісник : [наук.-теор. журн.]. – Харків : ХДАФК, 2009. – № 4. – С. 205–208.
16. Семенова К. А. Восстановительное лечение детей с перинатальным поражением нервной системы и с ДЦП / К. А. Семенова. – М. : Закон и порядок. 2007. – 613 с.
17. Хрисанфова Е. Н. Эволюционная морфология скелета человека / Е. Н. Хрисанфова. – М. – 1978. – 153 с.
18. Юровская В. З. Сравнение онтогенеза человека и приматов / В. З. Юровская // Морфология человека : [под ред. Б. А. Никитюк, В. П. Чтецов]. – М. : Изд. МГУ, 1983. – С. 36–39.
19. Lewit K. Postizometricka relaxace // Cas. Lek. ces. – 1980. – Vol. 119. – № 15–16. – S. 450–455.
20. Janda V. On the concept of postural muscles and posture / V. Janda // The Australian J. of Physiotherapy. – 1983. – Vol. 29. – P. 83.
21. The Anatomical Basis of Clinical Practice (Grays Anatomy) (Expert Consult Title: Online + Print) (Hardcover) / Publisher: Churchill Livingstone. – 2008. – 1576 p.
22. Scherrington C. S. On reciprocal innervation of antagonistic muscles. Third note / Scherrington C. S. // Proc. Roy. Soc. – 1897, 60. – 414.
23. Weineck J. Sportbiologie / J. Weineck // Balingen: Perimed-spitta. Med. Verl. Ges. – 1996. – 631 s.

Стаття надійшла до редакції 3.12.2013 р.

Опубліковано: 30.12.2013 р.

**Анотація.** Сак А. Э. **Анатомо-біомеханічні основи вертикального положення тіла людини та спорт.** На основі літературних і даних власних проведено аналіз анатомо-біомеханічних перебудов тіла людини, спрямованих на забезпечення вертикального положення. Обговорюється роль перебудови скелета і скелетних м'язів для досягнення цих цілей. Серед таких перебудов необхідними є біомеханічно раціональне формування скелета, спрямоване на його адаптацію до сприйняття сил гравітації, придбання структурних особливостей, які входять в ряд необхідних таксономічних індикаторів прямоходіння. Найважливішою антигравітаційною системою тіла прямоходячої людини є скелетні м'язи. Особливу роль у збереженні вертикального положення хребта грають паравертебральні м'язи, які забезпечують стійкість хребетного стовпа і виступають у функціональному єдності з іншими м'язами. Антигравітаційними структурами є також ряд м'язів, що визначають відповідність сегментів тіла людини вертикальним навантаженням. Усі ці м'язи потребують особливої уваги у зв'язку з хронічними перевантаженнями, особливо в спорті.

**Ключові слова.** Тіло людини, кісткове та м'язове забезпечення вертикального положення.

**Abstract.** Sak A. **Anatomo-biomechanical basis vertical position of the body and sport.** On the basis of the literature and own data analysis anatomical reconstructions of biomechanical human body designed to provide vertical position. The role of reconstruction of the skeleton and skeletal muscles to achieve these goals. Among such changes are necessary biomechanically efficient shaping of the skeleton aimed at adapting it to the perception of gravity, the acquisition of structural features that are required in a number of taxonomic indicators of bipedalism. The most important anti-gravity system of the body is upright-walking human skeletal muscle. A special role in maintaining the vertical position of the spine play paravertebral muscles that provide stability spine and stand up to functional unity with other muscles. Anti-gravity structures is also a number of muscles that define the line



segments of the human body to vertical loads. All of these muscles require special attention due to chronic congestion, especially in sports.

**Keywords:** The human body, providing structural vertical position.

**References:**

1. Bernshhteyn N. A. *Obshchaya biomekhanika. Osnovy ucheniya o dvizheniyakh cheloveka [Overall biomechanics. Fundamentals of human movements]*, Moscow, 1926.
2. Vinarskaya Ye. N., Firsov G. I. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya [Successes contemporary science]*, 2008, vol. 1, pp. 61–62.
3. Gafarov Kh. Z. *Lecheniye deformatsiy stop u detey [Treatment of foot deformities in children]*, Kazan, 1990, 176 p.
4. Gurfinkel V. S., Kots Ya. M., Shik M. L. *Regulyatsiya pozy cheloveka [Regulation of human postures]*, Moscow, 1965, 256 s.
5. Ivanichev G. A. *Manualnaya terapiya. Rukovodstvo. Atlas [Manual therapy]*, Kazan, 1997, 448 p.
6. Kadyrova L. A., Popelyanskiy Ya. Yu., Sak N. N. *Manualnaya meditsina [Chiropractic Medicine]*, 1991, vol. 1, pp. 5–7.
7. Kashuba V. A. *Biomekhanika osanki [Biomechanics of posture]*, Kyiv, 2003, 280 p.
8. Kozyavkin V. I., Sak N. N., Kachmar O. A., Babadagly M. A. *Osnovy reabilitatsii dvigatelnykh narusheniy po metodu Kozyavkina [Basics rehabilitation of motor disorders method Kozyavkin]*, Lvov, 2007, 192 p.
9. Laputin A. N. *Prakticheskaya biomekhanika [Practical Biomechanics]*, Kyiv, 2000, 298 p.
10. Likhachev S. A., Borisenko A. V., Kachinskiy A. N. Sb. «Aktualnyye voprosy nevrologii i neyrokhirurgii» [Collection of "Actual issues of Neurology and Neurosurgery"], Minsk, 2008, vol. 10, pp. 120–127.
11. Magnus R. *Ustanovka tela [Setting body]*, Moskva, 1962, 624 p.
12. Nikolayev L. P. *Rukovodstvo po biomekhanike v primeneniik ortopedii, travmatologii i protezirovaniyu [Manual biomechanics applied to orthopedics, traumatology and prosthetics]*, Kyiv, 1947, 315 p.
13. Popelyanskiy Ya. Yu. *Rukovodstvo dlya vrachey v dvukh tomakh. Tom II. Etiologiya, patogenez, diagnostika, lecheniye [Guide for physicians in two volumes. Etiology, pathogenesis, diagnosis, treatment]*, Kazan, 1997, 488 p.
14. Sak N. N., Sak A. E. *Slobozans'kij nauk.-sport. visn. [Slobozhanskyi science and sport bulletin]*, Kharkiv, 2002, vol. 45, pp. 146–150.
15. Sak N. N., Simenach B. I., Sak A. E. *Slobozans'kij nauk.-sport. visn. [Slobozhanskyi science and sport bulletin]*, Kharkiv, 2009, vol. 4, pp. 205–208.
16. Semenova K. A. *Vosstanovitelnoye lecheniye detey s perinatalnym porazheniyem nervnoy sistemy i s DTsP [Rehabilitation treatment of children with perinatal lesions of the nervous system and with cerebral palsy]*, Moscow, 2007, 613 p.
17. Khrisanfova Ye. N. *Evolyutsionnaya morfologiya skeleta cheloveka [Evolutionary morphology of the human skeleton]*, Moscow, 1978, 153 p.
18. Yurovskaya V. Z., Nikityuk B. A., Chtetsov V. P. *Morfologiya cheloveka [Human Morphology]*, Moscow, 1983, pp. 36–39.
19. Lewit K. *Postizometrichka relaxace // Cas. Lek. ces. – 1980. – Vol. 119. – vol. 15–16. – S. 450–455.*
20. Janda V. *On the concept of postural muscles and posture / V. Janda // The Australian J. of Physiotherapy. – 1983. – Vol. 29. – P. 83.*
21. *The Anatomical Basis of Clinical Practice (Grays Anatomy) (Expert Consult Title: Online + Print) (Hardcover) / Publisher: Churchill Livingstone. – 2008. – 1576 p.*
22. Scherrington C. S. *On reciprocal innervation of antagonistic muscles. Third note / Scherrington C. S. // Proc. Roy. Soc. – 1897, 60. – 414 p.*
23. Weineck J. *Sportbiologie / J. Weineck // Balingen: Perimed-spitta. Med. Verl. Ges. – 1996. – 631 s.*

Received: 3.12.2013.

Published: 30.12.2013.

**Андрей Евгеньевич Сак**, к. б. н.; sak\_andrei@mail.ru; Харьковская государственная академия физической культуры: ул. Клочковская, 99., г. Харьков, 61058, Украина.

**Andrey Sak**, Ph. D. (Biology); sak\_andrei@mail.ru; Kharkiv State Academy of Physical Culture: Klochkovskaya 99, Kharkiv, 61058, Ukraine.

