

6. *Paillard T., Noé F., Rivière T., Marion V.* Postural performance and strategy in the unipedal stance of soccer players at different levels of competition, *J. Athl. Train.*, 2006, Vol. 41, pp. 172-176.
7. *Winter D.A., Prince F., Frank J.S., Powell C. et al.* Unified theory regarding A/P and M/L balance in quiet stance, *J. Neurophysiol.*, 1996, Vol. 75, pp. 2334-2343.

Статью рекомендовал к опубликованию д.б.н., профессор А.Д. Викулов.

Мельников Андрей Александрович – ФГБОУ ВПО «Ярославского государственного педагогического университета им. К.Д. Ушинского»; e-mail: meln1974@yandex.ru; 150000, г. Ярославль, ул. Республиканская, 108; тел.: 89610254836; кафедра физического воспитания; зав. кафедрой; д.б.н.; профессор.

Макаренкова Елена Александровна – e-mail: elena.makarenkova.00@mail.ru; тел.: 89109792628; кафедра физического воспитания; аспирант.

Малахов Максим Викторович – ГБОУ ВПО «Ярославская государственная медицинская академия» Минздрава РФ; e-mail: malahovmv@mail.ru; 150000, г. Ярославль, ул. Революционная, 5; тел.: +74852305763; кафедра нормальной физиологии с биофизикой; к.б.н.; ассистент.

Ершов Сергей Алексеевич – ФГКВБОУ ВПО филиал Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (г. Ярославль); e-mail: elena.makarenkova.00@mail.ru; 150001, г. Ярославль, Московский проспект, 28; тел.: 89109604253; кафедра физической подготовки; к.п.н.; доцент.

Melnikov Andrey Alexandrovich – Yaroslavl State Pedagogical University; e-mail: meln1974@yandex.ru; 108, Respublikanskay street, Yaroslavl, 150000, Russia; phone: +79610254836; the department of physical culture and exercise; head the department; dr. of biolog. sc.; professor.

Makarenkova Elena Alexandrovna – e-mail: elena.makarenkova.00@mail.ru; phone: +79109792628; the department of physical culture and exercise; postgraduate student.

Malakhov Maxim Viktorovich – Yaroslavl State Medical Academy; e-mail: malahovmv@mail.ru; 5, Revolutsionnaya street, Yaroslavl, 150000, Russia; phone: +74852305763; the department of normal physiology; cand. of biolog. sc.; assistant.

Erschov Sergey Alexeevich – Branch of Force Space Academy named after A.F. Mozhayskiy (Yaroslavl); e-mail: elena.makarenkova.00@mail.ru; 28, Moscow pr., Yaroslavl, 150001, Russia; phone: +79109604253; the department of physical training; cand. of ped. sc.; associate professor.

УДК 612.886

Р.Ю. Николаев, А.А. Мельников, А.В. Борисов

ЭФФЕКТ УТОМЛЕНИЯ АБДУКТОРОВ БЕДРА НА УСТОЙЧИВОСТЬ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОЗЫ ВО ФРОНТАЛЬНОЙ И САГИТТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

Исследовано влияние двух максимальных анаэробных нагрузок на мышцы ног (отведение ноги в сторону и велоэргометрия), участвующие в поддержании равновесия тела во фронтальной и сагиттальной плоскости, на устойчивость вертикальной позы у молодых людей (n=18). Испытуемые выполняли максимальный тест (30 сек, 5 Вт на кг веса тела) на велоэргометре «Mopark 828E» и после периода отдыха отведение ног в стороны с тягошением 0,5 кг влево (левая нога, 30 сек) и вправо (правая нога, 30 сек). Регуляцию вертикальной позы исследовали с помощью стабилографии («Стабилан-1-02», ОКБ «Ритм»). Установлено, что линейная средняя скорость колебаний центра давления по сагиттали и фронталу увеличивалась как после максимальной велоэргометрии, так и после нагрузки на

абдуктивные мышцы бедра. Однако степень прироста ЛССс была выше ($p=0,043$) после велоэргометрии, а ЛССф становилась немного выше ($p<0,1$) после маховых движений ногами. Разброс колебаний по сагиттали увеличивался после обоих видов нагрузки в одинаковой степени, а разброс по фронту не изменялся, но после абдукции бедра Q_x становился выше ($p<0,05$), чем после велоэргометрии. Таким образом, максимальная нагрузка на постральные мышцы вызывает снижение устойчивости вертикальной позы наиболее значительно в сагиттальном направлении, а также напряжение системы постральной регуляции. Специфика мышечной деятельности оказывает существенное влияние на особенности постральной устойчивости в основных направлениях.

Регуляция позы; стабилософия; физическая нагрузка; утомление.

R.Y. Nikolaev, A.A. Melnikov, A.V. Borisov

THE EFFECTS OF THIGH ABDUCTORS FATIGUE ON POSTURAL STABILITY IN THE FRONTAL AND SAGITTAL PLANE

The influence of two maximal anaerobic exercises on the leg muscles (thigh abductors and bicycle exercise) involved in maintaining the balance in the frontal and sagittal plane were investigated in young adults ($n = 18$). Test persons carried out maximal test (30 sec, 5 watts per kilogram of body weight) on a bicycle ergometer «Monark 828E» and after a period of rest legs abduction apart with weights 0.5 kg left (left leg, 30 seconds) and right (right leg, 30 s). Postural stability was studied by stabilography (Stabilan-1-02, OKB "Ritm"). It was found that the average linear velocity of the pressure fluctuations center in the frontal and the sagittal plane increased equally after the maximal bicycle exercise (30 sec Wingate test) and after the thigh abductor exercise test (60 sec). However, the degree of linear velocity increase was higher in the sagittal plane ($p = 0.043$) after the bicycle exercise, and linear velocity in the frontal plane became slightly higher ($p < 0.1$) after the thigh abduction exercise. Variance of oscillations in the sagittal plane was increased to the same extent after both types of exercises, but variance of oscillations in the frontal plane was significantly increased ($p<0,05$) after the thigh abductors exercise compared to the Wingate test. Thus, the maximum load on the postural muscles causes a significant decrease in the postural stability in the sagittal direction, and also a greater stress of postural control system. Specificity of muscle activity has a significant impact on the characteristics of postural stability in key areas.

Postural control; stabilography; exercise; fatigue.

Введение. Поддержание равновесия вертикальной позы обусловлено взаимодействием трех функциональных отделов системы постральной регуляции: центральной регуляторной, сенсорной и мышечно-исполнительной [1]. Изменения в состоянии любой системы может уменьшить устойчивость вертикальной позы [2]. Регуляция равновесия тела существенно осложняется в состоянии физического утомления. В спортивной практике физическое утомление является важной составляющей как тренировочного, так и соревновательного процесса. Психофизическое утомление снижает эффективность как центрального аппарата управления движениями, так и мышечной системы и, в целом, физическую работоспособность человека, снижая спортивный результат [3]. Не является исключением и система регуляции равновесия, которая также подвержена негативному влиянию утомления [4]. Показано, что физическое утомление вызывает напряжение систем регуляции позы и снижение постральной устойчивости человека [5].

В различных экспериментальных работах установлено, что функция равновесия существенно нарушается под влиянием общей [6] и локальной физической нагрузки [7], а также под влиянием физических нагрузок как аэробной, так и анаэробной интенсивности [6]. Нами ранее показано, что утомление мышц как прямо вовлеченных в поддержание равновесия тела – мышц нижних конечностей, так и утомление мышц, не имеющих существенного значения в постральном балансе – мышц верхних конечностей, снижает устойчивость вертикальной позы [8]. Инте-

ресной особенностью было одинаковое увеличение средней линейной скорости сразу после обоих видов нагрузки и "на руки" и "на ноги". Однако период восстановления устойчивости вертикальной позы была в три раза меньше после работы «руками» (1 мин) по сравнению с работой «ногами» (3 мин) [8]. Эти данные указывают, что равновесие тела может существенно нарушаться в результате физического утомления под влиянием различных механизмов. Полностью эти механизмы до сих пор не выяснены. В данной работе, мы решили установить эффекты физической нагрузки на функционально различные мышцы нижних конечностей, участвующие в поддержании равновесия тела, на постуральную устойчивость человека. Колебания человека в вертикальной позе в стабилометрии регистрируются в двух плоскостях: фронтальной и сагиттальной. Устойчивость в этих направлениях может зависеть от функционального состояния нервно-мышечного аппарата мышц, которые активны в этих направлениях. Мы предположили, что утомление мышц, участвующих в отведении нижних конечностей снизит устойчивость во фронтальной плоскости, а нагрузка на мышцы разгибатели бедра в коленном суставе приведёт к большему увеличению величины колебаний тела в сагиттальной плоскости. Целью нашей работы было исследовать степень нарушения равновесия под влиянием максимальных анаэробных нагрузок на мышцы ног, участвующие в поддержании равновесия в сагиттальной и фронтальной плоскостях.

Организация и методы исследования. Исследование проведено с участием практически здоровых добровольцев – мужчин в возрасте от 18 до 23 лет ($n=18$). Рост тела испытуемых составил $180,5 \pm 5$ см, вес тела – $76,1 \pm 13,4$ кг, обхват груди – $95,2 \pm 7,9$ см, длина стопы – $26,7 \pm 1,5$ см.

Регуляцию вертикальной позы исследовали на стабилографическом аппаратно-программном комплексе «Стабилан-1-02» ОКБ «Ритм» (Россия). Во время тестов испытуемые стояли на стабилографической платформе в течение 25 секунд, стараясь как можно меньше отклонять тело от вертикального положения, в обычной вертикальной стойке с открытыми глазами, пятки находились на расстоянии 2 см, стопы – под углом 30° , и смотрели на белый круг на чёрном фоне.

Для оценки устойчивости вертикальной позы определялись следующие параметры: среднеквадратическое отклонение (разброс) колебаний центра давления (ЦД) во фронтальном (Q_x , мм) и сагиттальном (Q_y , мм) направлениях, а также средняя линейная скорость перемещения ЦД во фронтальном (ЛССф, мм/сек) и сагиттальном (ЛССс, мм) направлениях.

Физическая нагрузка. Для утомления мышц, наиболее активных в сагиттальном направлении использовали велоэргометрию, а для утомления мышц, обеспечивающих устойчивость вертикальной позы во фронтальном направлении – абдуктивные движения бедра. *Велоэргометрия.* Испытуемые выполняли максимальную анаэробную работу ногами на велоэргометре «Monark 828E». Величина нагрузки определялась с учетом веса тела испытуемых и составляла вес тела $\times 5$ Вт. Время нагрузки – 30 сек, в течение которого испытуемым необходимо было выполнить максимальное число оборотов. ЧСС фиксировали с помощью пульсометра «POLAR S810» (Финляндия). По окончании нагрузки испытуемые снова проходили тестирование на стабилоплатформе в том же режиме, что и до нагрузки. Далее испытуемые восстанавливались в течение 30 минут сидя на кресле. После полного восстановления проводили исследование равновесия тела после физической нагрузки на абдуктивные мышцы бедра. У всех испытуемых снова определяли исходный уровень до нагрузки, затем они выполняли маховые движения ногами, после чего проводили повторное тестирование устойчивости вертикальной позы. *Абдукция (маховые движения).* От испытуемых требовалось в основной стойке, держась за подставку, отводить в максимальном темпе прямую ногу к туловищу

до угла 90° между ногами. Время нагрузки составило 1 мин: в течение первых 30 с испытуемые выполняли махи вправо правой ногой, в течение последних 30 с – махи влево левой ногой. Для усиления нагрузки к голеностопу обеих ног крепился утяжелитель с массой 0,5 кг.

Статистика. Полученные данные обработаны в программе Statistica 6.0. Результаты на рисунках представлены как средняя арифметическая $\pm$ доверительный интервал при $p=0,05$. Различия в реакции стабилеографических показателей на физическую нагрузку определяли с помощью двухфакторного анализа для повторных измерений и апостериорного критерия наименьшей значимой разности. Первым фактор включал: велоэргометрию и маховые движения; второй фактор: до нагрузки и после нагрузки. Достоверность различий показателей между «велоэргометрия» и «маховые движения» до нагрузки и после нагрузки определяли с помощью t-критерия Стьюдента. При $p<0,05$ различия считали статистически значимыми.

Результаты и их обсуждение. *Характеристика нагрузки на функционально различные мышцы.* На велоэргометре испытуемые выполнили в среднем 35 ± 10 оборотов за 30 сек с нагрузкой 228 ± 40 Вт, правой ногой было выполнено 62 ± 7 махов, а левой – 60 ± 7 махов в стороны за 30 сек для каждой ноги. Поскольку характер нагрузок был не сопоставим по абсолютной мощности, то более адекватную оценку интенсивности нагрузки дает ЧСС во время нагрузки. Сравнение показало, что ЧСС до нагрузки (89 ± 13 уд/мин и 96 ± 16 уд/мин, $p>0,05$), средняя ЧСС (145 ± 20 и 150 ± 16 уд/мин, $p>0,1$), а также максимальная ЧСС (171 ± 19 и 166 ± 17 уд/мин, $p>0,1$) непосредственно при нагрузке не различались между тестом «Велоэргометрия» и «Маховые движения». Это указывает, что относительная интенсивность двух видов нагрузки была одинакова, что позволяет сравнить их эффекты на постратуральную устойчивость после них. Однако средняя ЧСС в период восстановления во время стабилеографического теста после велоэргометрии была несколько выше, чем после маховых движений (142 ± 21 уд/мин после велоэргометрии и 131 ± 15 уд/мин после абдукции бедра, $p=0,014$). То есть состояние напряжение было немного выше после велоэргометрии при стабилеографическом тестировании. В целом, можно сказать, что исходное состояние, до нагрузки, относительная интенсивность нагрузки и состояние после нагрузки были примерно одинаковы в тестах с велоэргометрией и маховыми движениями, что позволяет провести сравнение эффектов разных видов нагрузки на устойчивость вертикальной позы.

Для оценки устойчивости вертикальной позы, мы использовали показатель ЛСС – линейную среднюю скорость колебания центра давления. Линейная средняя скорость – векторный показатель, характеризующий степень напряжения функции регуляции равновесия, а разброс колебаний во фронтальном и сагиттальном направлении определяют устойчивость позы в соответствующих плоскостях [9]. Велоэргометрия – это нагрузка в основном на икроножные мышцы, мышцы голеностопа, а так же двуглавую и квадратную мышцу бедра. Эти мышцы вносят большой вклад в поддержании вертикальной позы в сагиттальном направлении. Абдуктивные движения бедра задействуют систему мышц, образованную сзади наружной плоскостью большой ягодичной мышцы, а спереди – напрягателем широкой фасции и широкой фасцией. Данная группа мышц входит в систему поддержания вертикальной позы в боковом направлении.

В нашем исследовании ЛСС в сагиттальном (рис. 1) и фронтальном (рис. 2) направлениях достоверно увеличивались по отношению к до нагрузочному уровню, как после велоэргометрии, так и после абдукции нижних конечностей. Однако степень увеличения ЛССс по данным двухфакторного анализа, была выше ($p=0,043$, рис. 1) после велоэргометрической нагрузки, чем после махов ногами. С другой стороны, хотя степень увеличения ЛССф по фронтالي была примерно

одинакова после обеих нагрузок (по данным Anova), но уровень ЛССф стал выше при $p < 0,1$ после маховых движений, чем после велоэргометрии (рис. 2). Таким образом, можно заключить, что велоэргометрия привела к большим изменениям ЛСС по сагиттали, кроме того после маховых движений ногами уровень ЛСС по фронтالي становилась практически выше, чем после велоэргометрии. Таким образом, обе физические нагрузки, направленные на утомление функционально разных постуральных мышечных групп, вызывали повышение напряжения системы регуляции вертикальной позы независимо от функциональной роли мышц в обеспечении движений нижних конечностей и баланса тела. Данный факт мы связываем с тем, что ЛСС – высокочувствительный показатель ко многим изменениям в системе регуляции постурального равновесия и может достаточно сильно меняться при различных видах физического утомления. Однако специфика физической нагрузки, связанная с включением в работу различных мышечных групп, оказывает существенное влияние на рост напряжения постуральной регуляции в том направлении, в котором нагруженные мышцы наиболее активны.

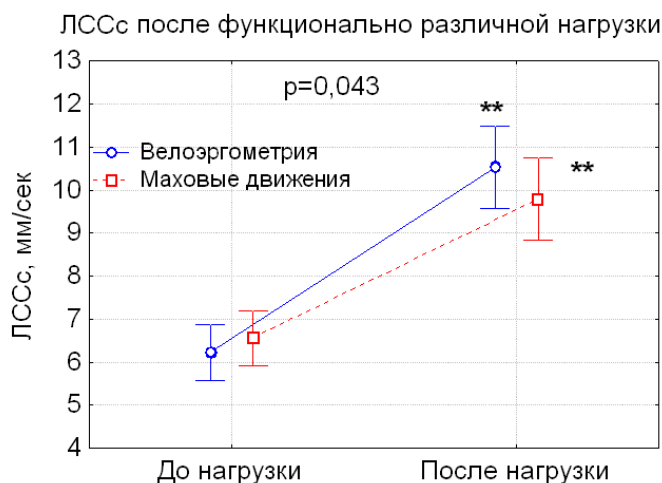


Рис. 1. ЛССс после двух максимальных анаэробных нагрузок на постуральные функционально разные мышцы нижних конечностей. ** – $p < 0,05 / 0,01$ по сравнению с «До нагрузки» в группах «Велоэргометрия» и «Маховые движения». $p = 0,043$ – достоверность различий между изменением ЛСС после велоэргометрии и маховых движений по данным Anova

Другим анализируемым показателем был разброс колебаний в сагиттальном и фронтальном направлении, отражающий пределы колебаний вертикальной позы, то есть степень постуральной устойчивости в соответствующем направлении [9]. Анализ динамики разброса колебаний по сагиттали показал, что как велоэргометрия, так и нагрузка маховыми движениями ног вызывали увеличение Q_y (рис. 3) в одинаковой мере. При этом различий между Q_y после обеих нагрузок не отмечалось. С другой стороны, разброс по фронтале, Q_x , существенно не увеличивался ни после велоэргометрии, ни после маховых движений (рис. 4). Вместе с тем, величина Q_x после маховых движений стал существенно выше, чем после велоэргометрии (рис. 4, $p < 0,05$). Таким образом, устойчивость вертикальной позы в сагиттальной плоскости снизилась после обоих видов нагрузки в одинаковой мере, а устойчивость по фронтале существенно не изменилась после этих нагрузок, но все-таки стала меньше (Q_x выше) после абдукции ног, чем после велоэргометрии.

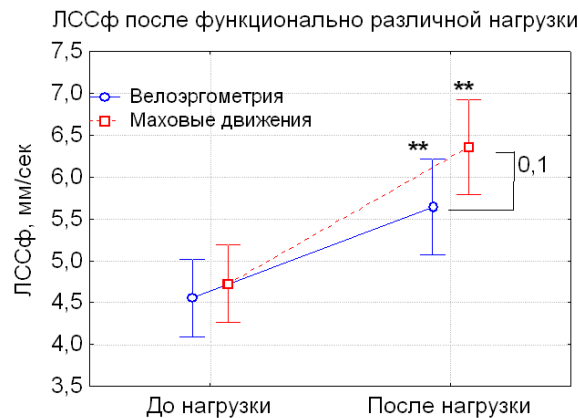


Рис. 2. ЛССф после двух максимальных анаэробных нагрузок на постральные функционально разные мышцы нижних конечностей. ** – $p < 0,05 / 0,01$ по сравнению с «До нагрузки» в группах «Велозергометрия» и «Маховые движения». 0,1 – $p < 0,1$ между «Велозергометрия» и «Маховые движения» после нагрузки

Полученные данные, в целом, согласуются с ранее опубликованными результатами, показавшими прирост величины разброса колебаний ЦД по сагиттали после схожей физической нагрузки [10, 11]. Вместе с тем, величина Q_x не изменилась после кратковременных, но максимальных функционально различных нагрузок, что удивительно и требует обсуждения. Литературные данные показывают, что устойчивость позы может оставаться без изменения после физической нагрузки за счет увеличения вклада в регуляцию позы со стороны зрительного анализатора [11], проприоцептивной информации из ненагруженных регионов [12] или вестибулярного аппарата [13]. Таким образом, мы полагаем, что постральная система справлялась со своей задачей – поддержанием устойчивости вертикального положения после физических нагрузок в наиболее устойчивом направлении – фронтальном. Однако это обеспечивалось за счет высокого напряжения (показанного ростом ЛССф) и затрат системы постральной регуляции.

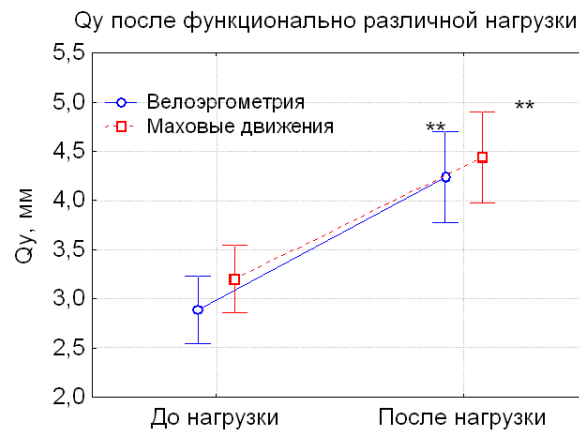


Рис. 3. Разброс колебаний по сагиттали (Q_y) после двух максимальных анаэробных нагрузок на постральные функционально разные мышцы нижних конечностей. ** – $p < 0,01$ по сравнению с «До нагрузки» в группах «Велозергометрия» и «Маховые движения»

Проведенное исследование является одной из немногих работ, в которой показано влияние специфики мышечного утомления на устойчивость вертикальной позы в различных направлениях. В целом, нами установлено, что специфика утомления оказывает влияние на особенности поддержания равновесия тела в различных направлениях. Мы полагаем, что механизмы, которые лежат в основе специфического влияния утомления на устойчивость позы в различном направлении может быть связано с уменьшением проприоцептивной чувствительности мышц, которые обеспечивают устойчивость позы в этом направлении. Действительно, установлено, что мышечное утомление вызывает снижение пространственной точности [14] и точности силовых ощущений утомленных мышц [15]. Показано, что снижение проприорецепции связано с метаболическими факторами утомления. Среди них простагландины, брадикинины, ионы калия, молочной кислоты и серотонин прямо снижают чувствительность механорецепторов мышечных веретен и ухудшают обратную проприоцептивную афферентацию от мышц к ЦНС [16], вызывая проприоцептивный дефицит на уровне ЦНС. Эти изменения на уровне мышц и центральной нервной системы могут оказывать влияние на устойчивость вертикальной позы и работу всей системы постуральной регуляции, вызывая отклонения в скорости и амплитуде колебания тела в сагиттальном и фронтальном направлении.

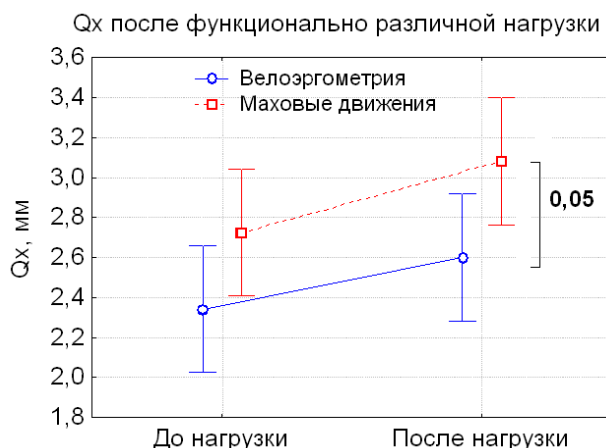


Рис. 4. Разброс колебаний по фронтальной оси ($Q(x)$) после двух максимальных анаэробных нагрузок на постуральные функционально разные мышцы нижних конечностей. 0,05 – $p < 0,05$ между «Велоэргометрия» и «Маховые движения» после нагрузки

Заключение. Полученные результаты позволяют заключить, что максимальная анаэробная нагрузка на мышцы нижних конечностей, обеспечивающие движения в сагиттальной и фронтальной плоскости, вызывает существенное напряжение системы постуральной регуляции и снижение способности поддерживать равновесие. Устойчивость вертикальной позы в сагиттальной плоскости существенно снижается под влиянием любых физических нагрузок. Однако специфика мышечной деятельности отражается на особенностях поддержания устойчивости вертикальной позы по основным направлениям. Утомление постуральных мышц активных в сагиттальной плоскости ведет к существенно большему напряжению постурального контроля в этой плоскости. Фронтальная устойчивость более стабильна и меньше подвергается изменениям, однако утомление мышц, активных в этой плоскости ведет к большему повышению и амплитуды и скорости колебаний во фронтальном направлении.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Horak F.B. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? // *Age and Ageing*. – 2006. – Vol. 35. – P. ii7–ii11.
2. Гаже П.-М., Вебер Б. Постурология. Регуляция и нарушения равновесия тела человека. – СПб.: СПбМАПО, 2007. – 316 с.
3. Платонов В.Н. Система подготовки спортсменов в олимпийском спорте. Общая теория и ее практические приложения: Учебник тренера высшей квалификации. – Киев: Олимпийская литература, 2004. – 656 с.
4. Шестаков М.П. Использование стабилотрии в спорте. – М.: ТВТ Дивизион, 2007. – 112 с.
5. Мельников А.А., Савин А.А., Емельянова Л.В., Викулов А.Д. Устойчивость позы во время статического напряжения до и после субмаксимального аэробного велоэргометрического теста у спортсменов // *Физиология человека*. – 2012. – Т. 38, № 2. – С. 66-72.
6. Demura S., Uchiyama M. Influence of anaerobic and aerobic exercises on the center of pressure during an upright posture // *J. Exerc. Sci. Fit.* – 2009. – Vol. 17. – P. 39-47.
7. Gribble P.A., Hertel J. Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control // *Arch. Phys. Med. Rehabil.* – 2004. – Vol. 85. – P. 589-592.
8. Николаев Р.Ю., Мельников А.А., Викулов А.Д. Особенности поддержания устойчивости вертикальной позы на фоне утомления мышц верхних и нижних конечностей у борцов // *Известия ЮФУ. Технические науки*. – 2012. – № 9 (134). – С. 251-256.
9. Paillard T., Noé F., Rivière T., Marion V. Postural performance and strategy in the unipedal stance of soccer players at different levels of competition // *J. Athl. Train.* – 2006. – Vol. 41. – P. 172-176.
10. Мельников А.А., Савин А.А., Емельянова Л.В., Викулов А.Д. Регуляция равновесия у борцов-самбистов на фоне физического утомления после субмаксимальной велоэргометрической нагрузки // *Вестник спортивной науки*. – 2010. – № 5. – С. 136-141.
11. Vuillerme N., Pinsault N. and Vaillant J. Postural control during quiet standing following cervical muscular fatigue: effects of changes in sensory inputs // *Neuroscience Letters*. – 2005. – Vol. 378. – P. 135-139.
12. Vuillerme N., Pinsault N. Re-weighting of somatosensory inputs from the foot and the ankle for controlling posture during quiet standing following trunk extensor muscles fatigue // *Exp. Brain Res.* – 2007. – Vol. 183. – P. 323-327.
13. Pinsault N., Vuillerme N. Differential postural effects of plantar-flexor muscles fatigue under normal, altered and improved vestibular and neck somatosensory conditions // *Exp. Brain Res.* – 2008. – Vol. 191. – P. 99-107.
14. Skinner H.B., Wyatt M.P., Hodgdon J.A., Conard D.W. et al. Effect of fatigue on joint position sense of the knee // *J. Orthop. Res.* – 1986. – Vol. 4. – P. 112-118.
15. Vuillerme N., Boisgontier M. Muscle fatigue degrades force sense at the ankle joint // *Gait Posture*. – 2008. – Vol. 28. – P. 521-524.
16. Pedersen J., Lonn J., Hellstrom F. et al. Localized muscle fatigue decreases the acuity of the movement sense in the human shoulder // *Med. Sci. Sports Exerc.* – 1999. – Vol. 31. – P. 1047-1052.

REFERENCES

1. Horak F.B. Postural orientation and equilibrium: what do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*, 2006, Vol. 35, pp. ii7–ii11.
2. Gazhe P.-M., Veber B. Posturologiya. Regulyatsiya i narusheniya ravnovesiya tela cheloveka [Posturology. Regulation and disturbances of the body]. St. Petersburg: SPbMAPO, 2007, 316 p.
3. Platonov V.N. Sistema podgotovki sportmenov v olimpiyskom sporte. Obshchaya teoriya i ee prakticheskie prilozheniya: Uchebnik trenera vysshey kvalifikatsii [The system of preparation of sportsmen in Olympic sport. General theory and its practical applications: the Tutorial coach of the highest qualification]. Kiev: Olimpiyskaya literatura, 2004, 656 p.
4. Shestakov M.P. Ispol'zovanie stabilometrii v sporte [Using stabilometry in sports]. Moscow: TVT Divizion, 2007, 112 p.

5. Mel'nikov A.A., Savin A.A., Emel'yanova L.V., Vikulov A.D. Ustoychivost' pozy vo vremya staticheskogo napryazheniya do i posle submaksimal'nogo aerobnogo veloergometricheskogo testa u sportsmenov [Sustainability poses during static voltage before and after submaximal aerobic exercise testing in athletes], *Fiziologiya cheloveka* [Human Physiology], 2012, Vol. 38, No. 2, pp. 66-72.
6. Demura S., Uchiyama M. Influence of anaerobic and aerobic exercises on the center of pressure during an upright posture, *J. Exerc. Sci. Fit.*, 2009, Vol. 17, pp. 39-47.
7. Gribble P.A., Hertel J. Effect of lower-extremity muscle fatigue on postural control, *Arch. Phys. Med. Rehabil.*, 2004, Vol. 85, pp. 589-592.
8. Nikolaev R.Yu., Mel'nikov A.A., Vikulov A.D. Osobennosti podderzhaniya ustoychivosti vertikal'noy pozy na fone utomleniya myshts verkhnikh i nizhnikh konechnostey u bortsov [Peculiarities of postural stability during physical fatigue of higher and lower extremities in fighters], *Izvestiya YuFU. Tekhnicheskie nauki* [Izvestiya SFedU. Engineering Sciences], 2012, No. 9 (134), pp. 251-256.
9. Paillard T., Noé F., Riviére T., Marion V. Postural performance and strategy in the unipedal stance of soccer players at different levels of competition, *J. Athl. Train.*, 2006, Vol. 41, pp. 172-176.
10. Mel'nikov A.A., Savin A.A., Emel'yanova L.V., Vikulov A.D. Regulyatsiya ravnovesiya u bortsov-sambistov na fone fizicheskogo utomleniya posle submaksimal'noy veloergometricheskoy nagruzki [Regulation of the balance of wrestlers Sambo in the face of physical fatigue after submaximal exercise load], *Vestnik sportivnoy nauki* [Bulletin of Sport Science], 2010, No. 5, pp. 136-141.
11. Vuillerme N., Pinsault N. and Vaillant J. Postural control during quiet standing following cervical muscular fatigue: effects of changes in sensory inputs, *Neuroscience Letters*, 2005, Vol. 378, P. 135-139.
12. Vuillerme N., Pinsault N. Re-weighting of somatosensory inputs from the foot and the ankle for controlling posture during quiet standing following trunk extensor muscles fatigue, *Exp. Brain Res.*, 2007, Vol. 183, P. 323-327.
13. Pinsault N., Vuillerme N. Differential postural effects of plantar-flexor muscles fatigue under normal, altered and improved vestibular and neck somatosensory conditions, *Exp. Brain Res.*, 2008, Vol. 191, pp. 99-107.
14. Skinner H.B., Wyatt M.P., Hodgdon J.A., Conard D.W. et al. Effect of fatigue on joint position sense of the knee, *J. Orthop. Res.*, 1986, Vol. 4, pp. 112-118.
15. Vuillerme N., Boisgontier M. Muscle fatigue degrades force sense at the ankle joint, *Gait Posture*, 2008, Vol. 28, pp. 521-524.
16. Pedersen J., Lonn J., Hellstrom F. et al. Localized muscle fatigue decreases the acuity of the movement sense in the human shoulder, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 1999, Vol. 31, pp. 1047-1052.

Статью рекомендовал к опубликованию д.б.н., профессор А.Д. Викулов.

Николаев Роман Юрьевич – ФГБОУ ВПО «Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П.А. Соловьёва»; e-mail: Nikolaev.R.U@yandex.ru; 152907, г. Рыбинск, проспект Ленина, 191, кв. 31, тел.: 89806589176; кафедра физической культуры; старший преподаватель.

Мельников Андрей Александрович – ФГБОУ ВПО «Ярославского государственного педагогического университета им. К.Д. Ушинского»; e-mail: meln1974@yandex.ru; 150000, г. Ярославль, ул. Республиканская, 108; тел.: 89610254836; кафедра физического воспитания; зав. кафедрой; д.б.н.; профессор.

Борисов Александр Викторович – ФГКВБОУ ВПО филиал Военно-космической академии имени А.Ф. Можайского (г. Ярославль); e-mail: meln1974@yandex.ru; 150001, г. Ярославль. Московский проспект, 28; тел.: 89036913806; кафедра физической подготовки; зав. кафедрой; к.п.н.; доцент.

Nikolaev Roman Yurevich – Ribinsk State Institute of Technology; e-mail: Nikolaev.R.U@yandex.ru; 191, Lenina Avenue, apart. 31, Ribinsk, 152907, Russia; phone: +79806589176; the department of physical culture and exercise; senior lecturer.

Melnikov Andrey Alexandrovich – Yaroslavl State Pedagogical University; e-mail: meln1974@yandex.ru; 108, Respublikanskaya street, Yaroslavl, 150000, Russia; phone: +79610254836; the department of physical culture and exercise; head the department; dr. of biolog. sc.; professor.

Borisov Alexander Viktorovich – Branch of Force Space Academy named after A.F. Mozhayskiy; e-mail: a.melnikov@yspu.yar.ru; 28, Moscow pr., Yaroslavl, 150001, Russia; phone: +79036913806; the department of physical training; head the department; cand. of ped. sc.; associate professor.

УДК 612.76

О.А. Писаренко

СПОСОБЫ ПЕРЕСЧЕТА ВЫХОДНЫХ СИГНАЛОВ МНОГОКОМПОНЕНТНОГО ДАТЧИКА В СИЛЫ И МОМЕНТЫ СИЛ

Показана актуальность использования шестикомпонентного датчика сил и моментов сил в динамометрических аппаратно-программных комплексах. Описано функционирование реально использующегося шестикомпонентного датчика. Подробно рассмотрены вопросы вычисления из выходных сигналов тензомостов шестикомпонентного датчика сил и моменты сил. Проиллюстрирована и описана методика проведения испытаний шестикомпонентного датчика сил и моментов сил, необходимая для получения требуемых выходных величин из сигналов с тензомостов шестикомпонентного датчика. По опытным данным проведена оценка максимального значения ошибки измерения при вычислении по способу, применяемому ранее. Для уменьшения максимального значения ошибки предложен другой способ расчета сил и моментов сил. Подробно рассмотрены требуемые вычисления. Выполнена оценка максимального значения ошибки измерения по новому способу. Сделаны выводы о результатах использования способа. Рассмотрены некоторые аспекты его применимости в системах реального времени в связи с возросшей вычислительной сложностью.

Датчик; сила; момент силы.

O.A. Pisarenko

WAYS OF RECALCULATION OUTPUT SIGNALS MULTICOMPONENT SENSOR FORCES AND MOMENTS OF FORCES

There is shown the relevance of using a six-component sensor forces and moments of forces in the dynamometry complex. The operation of actually using a six-component sensor is described. The computation problems of the output strain gauges signals of the six-component sensor into forces and torques are discussed in details. The technique of testing six-component sensor of the forces and forces moments needed to obtain the desired output values from the strain signals is illustrated and described. According to experimental data the maximum measurement error in the calculation is evaluated by the method used previously. To reduce the maximum error we propose another method of calculating the forces and torques. The required calculations are considered in detail. The estimation of the maximum measurement error by the new method is carried out. Conclusions about the results of using the method are brought. Some aspects of its applicability in real-time systems due to the increased computational complexity are considered.

Sensor; force; torque.

Стабилографические исследования имеют большое значение в диагностике патологий опорно-двигательного аппарата, в совершенствовании методик подготовки спортсменов, реабилитации [1–3]. Такие исследования требуют регистрации данных в разных фазах движений, а это, как следствие, приводит к необходимости создания специальных технических средств. Существующие динамометрические