

Министерство образования Республики Беларусь  
Учреждение образования  
Белорусский государственный университет  
Информатики и радиоэлектроники  
Кафедра инженерной психологии и эргономики

На правах рукописи

УДК 159.97

Ковалевич  
Ольга Викторовна

ФУНКЦИИ РАВНОВЕСИЯ ЧЕЛОВЕКА

**АВТОРЕФЕРАТ**

на соискание степени магистра технических наук

1-23 80 08 Психология труда, инженерная психология, эргономика

Магистрант О.В. Ковалевич

Научный руководитель  
В. В. Савченко, кандидат  
технических наук, доцент

Заведующий кафедрой ИПиЭ  
К. Д. Яшин, кандидат  
технических наук, доцент

Нормоконтролер  
Е. С. Иванова,  
ассистент кафедры ИПиЭ

Минск 2016

## ВВЕДЕНИЕ

Одной из важнейших функций центральной нервной системы является организация системы двигательной активности. Исследование механизмов управления движениями осложнено взаимодействием подсистем управления на разных уровнях и необходимостью управлять не только самим движением, но и постуральным обеспечением этого движения. Поддержание вертикального положения тела у человека представляет собой очень сложную задачу из-за механической неустойчивости многозвенной системы, большого числа степеней свободы и необходимости удерживать проекцию общего центра масс тела внутри небольшого опорного контура.

Нарушение функции равновесия и координации движений являются важнейшими клиническими признаками поражения вестибулярного аппарата и центральной нервной системы. Наряду с другими симптомами они определяют тяжесть заболевания и нередко приводят к длительной стойкой потере трудоспособности человека.

Одним из перспективных методов распознавания вестибулярных расстройств и нарушения равновесия является объективный метод регистрации колебаний центра тяжести человека – стабилметрия. Метод стабилметрии дает ценную информацию в экспериментальной медицине, спортивной медицине и профотборе. Данный подход предполагает применение стабилметрической платформы для регистрации центра тяжести стоящего на ней человека и информационных технологий для обработки полученной информации и организации обратной связи, соответствующей методике двигательной диагностики.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Целью работы является исследование функции равновесия человека с помощью компьютеризированного устройства на основе стабильной платформы и визуальной биологической связи.

Задачи данного исследования:

- изучить научно-техническую литературу по проблеме комплексной оценки функции равновесия;
- провести теоретическое исследование в области компьютерной стабиллометрии;
- исследовать функцию равновесия с помощью стабиллометрической платформы.

Объектом исследования в данной работе является система «человек-статоплатформа».

Предметом исследования являются методы и средства оценки способности человека поддерживать вертикальное положение в условиях отклонения опорной поверхности от горизонтального положения.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Вестибулярная система играет наряду со зрительной и соматосенсорной системами ведущую роль в поддержании равновесия человека. Сохранение равновесия – это ложный рефлекторный процесс, контролируемый непрерывным потоком импульсов, идущих от мышц, проприорецепторов сухожилий, кожных экстерорецепторов, вестибулярного и зрительного аппарата к соответствующим отделам центральной нервной системы. При потере равновесия эти импульсы активируют рефлекторные сокращения мышечных волокон для восстановления равновесия. Таким образом, рефлекторные сокращения мускулатуры являются причиной непрерывных колебаний тела человека, направленных на поддержание равновесия.

Исследования статодинамической устойчивости человека (стабилография) позволяет получать значительное количество клинически ценной информации. Это связано с тем, что характеристики колебаний, направленных на поддержание равновесия, в частности, их амплитуда, частота и направление проекции на плоскость опоры являются чувствительными параметрами, отражающими состояние различных систем, включенных в поддержание равновесия.

Стабилометрия относится к новым перспективным технологиям медицины и в настоящее время она успешно используется при диагностике опорно-двигательного аппарата человека; дифференциальной оценке атаксий; для подбора дополнительных средств опоры; для экспресс-оценки психофизиологического состояния человека при предрейсовом, предстартовом, предполетном, предсменном контроле, а также в реабилитологии.

В магистерской диссертации использовалась методика комплексной компьютерной стабилометрии, разработанная в ГНУ «Объединенный институт машиностроения» В. А. Дубовским. Многогранный эффект от тренировки на стабилотренажере благодаря использованию балансирующей платформы с системой биологической обратной связи. Человек становится обеими ногами на платформу, подключенную к компьютеру, и, руководствуясь визуальными сигналами биологической обратной связи выполняет поставленную перед ним двигательную задачу в течение заданного времени. По окончании времени тестирования автоматическим вычисляется и выводится на экран монитора показатель функции равновесия.

Исследования функции равновесия с использованием стабилометрической платформы проходило на кафедре инженерной психологии и эргономики Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники. В нем приняло участие 28 человек из числа студентов: 22

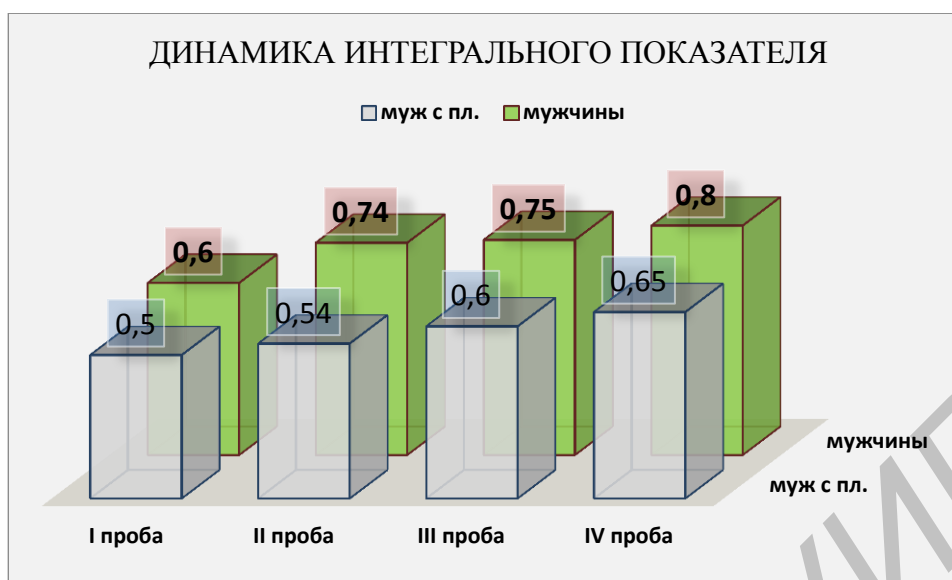
мужчины и 6 женщин. У 6 мужчин диагностировано плоскостопие. Исследования осуществлялись посредством динамических тестов «Равновесие», «Реакция», «Воспроизведение» и «Ритм» с использованием биологической обратной связи. Экспозиция на стабилметрической платформе составляла 30 с. Устойчивость испытуемых на стабилметрической платформе выражена в интегральном показателе, который находится в диапазоне от 0 до 1 (1 – максимальный показатель). Динамика изменения расчетного показателя позволяет количественно оценить эффективность проводимого исследования.

Тест «Равновесие» использовался для тестирования функции равновесия человека с использованием зрительной биологической обратной связи по положению его центра тяжести тела относительно состояния равновесия. В результате систематического прохождения теста среднее значение интегрального показателя функции равновесия изменялся от 0,52 до 0,8 у полностью здоровых студентов и от 0,44 до 0,78 у студентов с диагнозом плоскостопие. Расчетные показатели для каждой категории испытуемых приведены в приложении А.

После первой пробы теста «Равновесие» у здоровых мужчин и женщин 54,6 % полученных данных находились в интервале от 0,406 до 0,595, 27,3 % – в интервале от 0,784 до 0,91. После второй пробы: 45,5 % – в интервале от 0,668 до 0,824, 36,7 % – в интервале от 0,824 до 0,98. После третьей пробы: 68 % данных попали в интервал от 0,755 до 0,98. После четвертой пробы 77 % полученных экспериментальных данных попали в интервал от 0,76 до 0,98.

У мужчин с плоскостопием распределение интегрального показателя в результате прохождения четырех проб теста составляет следующие данные. После первой пробы 67 % полученных данных попали в диапазон от 0,468 до 0,87. После второй пробы: 67 % данных лежат в интервале от 0,508 до 0,76. После третьей пробы 50 % экспериментальных данных попали в диапазон от 0,696 до 0,78. После четвертой пробы 67 % данных находились в интервале от 0,622 до 0,88.

Общая динамика изменения среднего значения интегрального показателя функции равновесия у мужчин без плоскостопия и у мужчин с плоскостопием представлена на рисунке 1:



**Рисунок 1 – Динамика интегрального показателя у мужчин с плоскостопием и без него в тесте «Равновесие»**

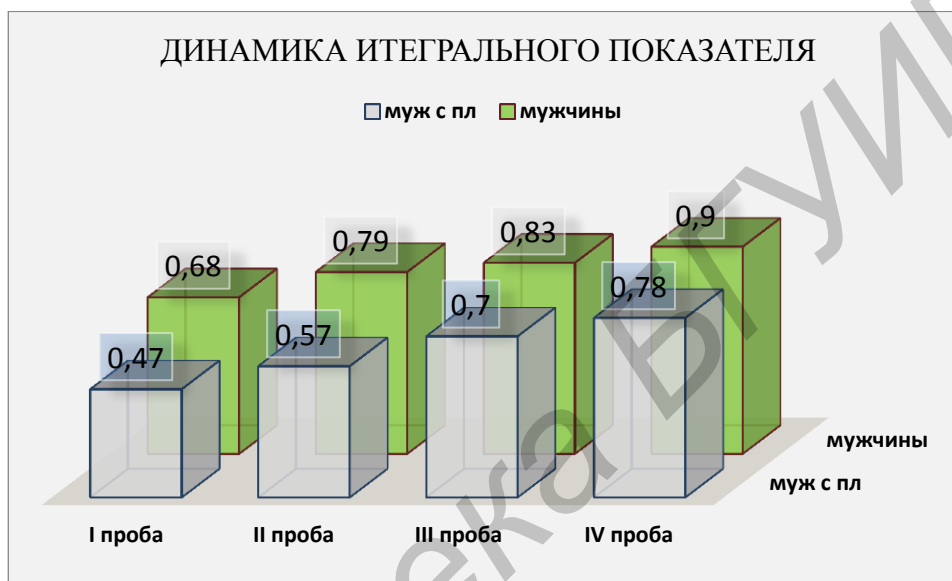
Тест «Воспроизведение» использовался для тестирования и тренинга координационных способностей человека при воспроизведении им в вертикальной позе определенным образом структурированных двигательных актов. Испытуемый, согласно реализованному методу оценки координации движений, стоящий на стабилометрической платформе в вертикальной стойке, должен как можно более точно воспроизвести заданную траекторию движения центра давления его тела на стабилометрическую платформу, руководствуясь сигналами зрительной биологической обратной связи о текущем положении центра давления его тела на платформу. В результате систематического прохождения теста среднее значение интегрального показателя функции равновесия изменялся от 0,67 до 0,9 у студентов с плоскостопием и от 0,47 до 0,78 у студентов с диагнозом плоскостопие. Расчетные показатели для каждой категории испытуемых приведены в приложении А.

После первой пробы теста «Воспроизведение» у мужчин и женщин 31,8 % полученных данных находились в интервале от 0,584 до 0,767, 40,9 % – в интервале от 0,767 до 0,95. После второй пробы: 27,3 % – в интервале от 0,694 до 0,847; 45,5 % – в интервале от 0,847 до 1. После третьей пробы: 22,7 % данных попали в интервал от 0,775 до 0,865, 50 % – от 0,865 до 1. После четвертой пробы 27,3 % полученных экспериментальных данных попали в интервал от 0,805 до 0,922, а 50 % всех значений находились в пределах от 0,922 до 1.

У мужчин с плоскостопием распределение интегрального показателя в результате прохождения четырех проб теста составляет следующие данные. После первой пробы 66,6 % полученных данных попали в диапазон от 0,38 до

0,438, 33,3 % в диапазоне от 0,612 до 0,67. После второй пробы: 33,3 % данных попали в интервале от 0,512 до 0,624, 33,3 % в интервал от 0,624 до 0,68. После третьей пробы 66,6 % экспериментальных данных попали в диапазон от 0,64 до 0,672. После четвертой пробы 50 % данных находились в интервале от 0,802 до 0,94.

Динамика изменения среднего значения интегрального показателя функции равновесия у мужчин с плоскостопием и без него представлена на рисунке 2:



**Рисунок 2 – Динамика интегрального показателя у мужчин с плоскостопием и без него в тесте «Воспроизведение»**

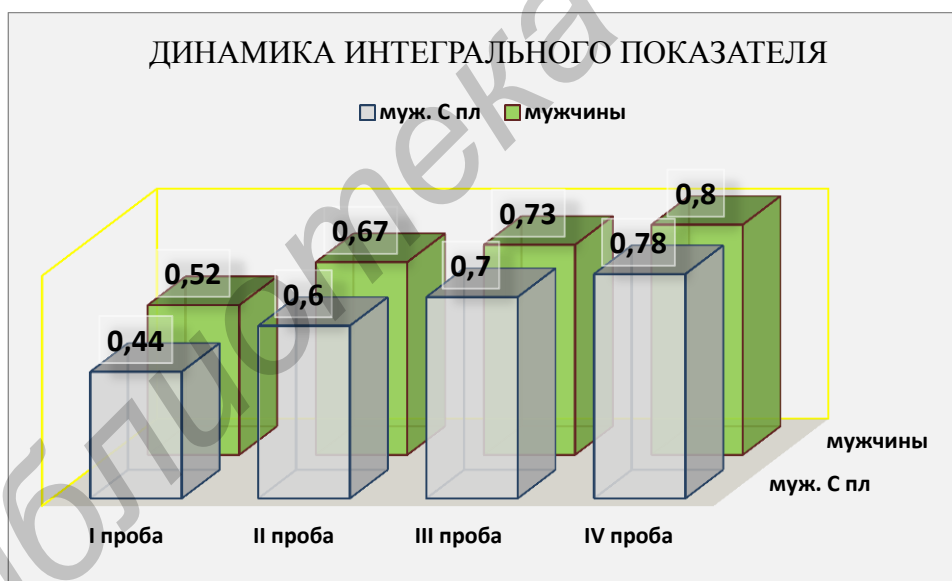
Тест «Ритм» использовался для тестирования и тренинга координационных способностей человека при синхронизации движений опорно-двигательного аппарата с предъявляемой ритмической последовательностью сигналов. Испытуемый, согласно реализованному методу оценки координации движений, стоящий на стабилметрической платформе в вертикальной стойке, должен синхронизировать движения опорно-двигательного аппарата с предъявляемой ритмической последовательностью сигналов одинаковой длительности путем соответствующих перемещений корпуса относительно стоп. В результате систематического прохождения теста среднее значение интегрального показателя функции равновесия изменялся от 0,52 до 0,79 у студентов без плоскостопия и от 0,52 до 0,78 у студентов с диагнозом плоскостопие. Расчетные показатели для каждой категории испытуемых приведены в приложении А.

После первой пробы теста «Ритм» у здоровых мужчин и женщин 31,8 % полученных данных находились в интервале от 0,43 до 0,595, 50 % – в

интервале от 0,595 до 0,76. После второй пробы: 27,3 % – в интервале от 0,548 до 0,704, 50 % – в интервале от 0,704 до 0,86. После третьей пробы: 22,7 % данных попали в интервал от 0,606 до 0,762, 45,5 % – от 0,762 до 0,97. После четвертой пробы 36,4 % полученных экспериментальных данных попали в интервал от 0,712 до 0,92, а 50 % всех значений находились в пределах от 0,816 до 0,92.

У мужчин с плоскостопием распределение интегрального показателя в результате прохождения четырех проб теста составляет следующие данные. После первой пробы 66,6 % полученных данных попали в диапазон от 0,23 до 0,338, 33,3 % – в интервале от 0,554 до 0,77. После второй пробы: 50 % данных лежат в интервале от 0,5 до 0,66, а 23,3 % от 0,66 до 0,74. После третьей пробы 66,6 % экспериментальных данных попали в диапазон от 0,64 до 0,67, 33,3 % находились в интервале от 0,76 до 0,79. После четвертой пробы 50 % данных находились в интервале от 0,8 до 0,86.

Общая динамика изменения среднего значения интегрального показателя функции равновесия у мужчин без плоскостопия и мужчин с плоскостопием представлена на рисунке 3:



**Рисунок 3 – Динамика интегрального показателя у мужчин с плоскостопием и без него в тесте «Ритм»**

Тест «Реакция» использовался для тестирования и тренинга навыка быстрого реагирования на внешние стимулы изменением положения центра тяжести своего тела в заданных направлениях. Испытуемый, согласно реализованному методу, обучается экстренным двигательным реакциям в сагиттальной и фронтальной плоскостях. В ответ на последовательно предъявляемые зрительные стимулы испытуемый должен как можно быстрее

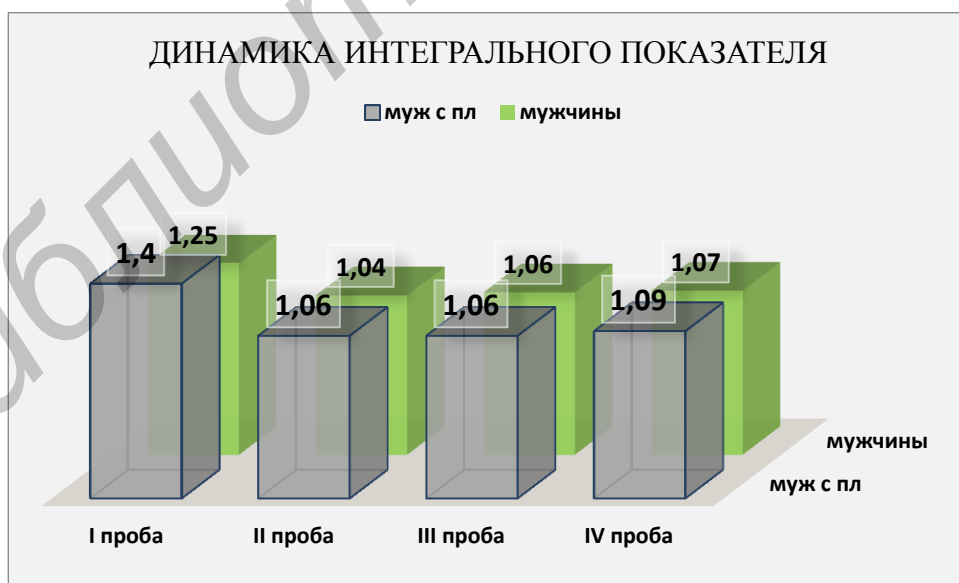


смещать центр тяжести своего тела из исходного устойчивого положения вперед, назад, вправо и влево. В результате систематического прохождения теста среднее значение интегрального показателя функции равновесия изменялся от 1,285 до 1,07 у студентов без плоскостопия и от 1,4 до 1,09 у студентов с диагнозом плоскостопие. Расчетные показатели для каждой категории испытуемых приведены в приложении А.

После первой пробы теста «Реакция» у мужчин и женщин 59 % полученных данных находились в интервале от 1,083 до 1,416. После второй пробы: 50 % – в интервале от 1,14 до 1,32, 22,7 % – в интервале от 0,78 до 1,14. После третьей пробы: 50 % данных попали в интервал от 1,08 до 0,852, 22,7 % – от 0,7 до 0,852. После четвертой пробы 68,2 % полученных экспериментальных данных попали в интервал от 0,96 до 0,1,182.

У мужчин с плоскостопием распределение интегрального показателя в результате прохождения четырех проб теста составляет следующие данные. После первой пробы 66,6 % полученных данных попали в диапазон от 1,14 до 1,416. После второй пробы: 66,6 % данных попали в интервал от 1,02 до 1,41. После третьей пробы 50 % экспериментальных данных попали в диапазон от 0,84 до 1,036. После четвертой пробы 50 % данных находились в интервале от 0,9 до 1,1.

Общая динамика изменения среднего значения интегрального показателя функции равновесия у мужчин без плоскостопия и мужчин с плоскостопием представлена на рисунке 4:



**Рисунок 4 – Динамика интегрального показателя у мужчин с плоскостопием и без него в тесте «Реакция»**

В исследовании отслеживалась стабильность и устойчивость сложной многоуровневой функциональной системы поддержания равновесия. Практически во всех тестах и во всех пробах сохраняются одинаковые без значимых различий значения у мужчин и женщин в первом и последующих тестах. Эта закономерность позволяет в дальнейшем брать для сравнения средние значения параметров всей группы здоровых лиц, полученных в результате экспериментального исследования.

У мужчин с плоскостопием показатель функции равновесия заметно отличался от показателя у здоровых мужчин на первом этапе проведения исследования, это связано с тем, что передний отдел уплощенной стопы при одинаковой нагрузке испытывает большее давление и, следовательно, находится в более неблагоприятных условиях сопротивления, чем стопа с более выраженным сводом. Распределение давления, как на своды, так и между пяткой и передними точками, в зависимости от характера стойки и постановки ног, меняется индивидуально.

Показатель качества функции равновесия основанный на анализе времени, в течение которого центр тяжести находится вне области допустимых отклонений стабилметрической платформы, позволяет оценить динамику изменения поддержания вертикальной позы. Студенты всех групп быстро адаптировались к предлагаемым тестам, отмечается уменьшение времени нахождения вне области допустимых отклонений по всем направлениям. Положительная тенденция увеличения показателя функции равновесия обусловлена улучшением координирования мышечных групп. Благодаря визуальной обратной связи человек обучается удерживать равновесие в условиях неустойчивой опоры, что способствует совершенствованию его функции равновесия.

Включение в процесс методов основанных на БОС приводит к более ранней адаптации и восстановлению нарушений функции равновесия, что связано с повышением пластических и ассоциативных процессов в головном мозге. Применение стабилметрической платформы стимулирует процессы восстановления функции равновесия и координации движения за счет формирования нового стереотипа балансирующих движений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В магистерской диссертации выполнены следующие задачи:

- изучена научно-техническая литература по проблеме оценки функции равновесия;
- проведено теоретическое исследование в области компьютерной стабилотрии;
- проведено исследование функции равновесия с помощью стабилотрической платформы.

Результаты исследования:

Статистическая обработка экспериментальных данных показала положительную динамику интегрального показателя, что свидетельствует об эффективности применяемого метода тренинга произвольно управлять позой своего тела при поддержании равновесия на стабилотрической платформе с биологической обратной связью по опорной реакции. В процессе тренировок улучшается координация мышечных групп, а биологическая обратная связь способствует ускоренному образованию новых функциональных связей для формирования двигательного навыка, выработке правильного стереотипа движений, закреплению правильности движений.

## СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

[1] Ковалевич, О.В. Стабилометрические реабилитационные системы / О.В. Ковалевич // Информационные системы и технологии: 51-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Мн., 2015. – С.26–27.

[2] Ковалевич, О.В. Информационно-коммуникационные технологии в профессиональном обучении / О.В. Ковалевич, Н.В. Щербина // Повышение квалификации и переподготовка: проблемы и перспективы развития: Материалы международной научно-практической конференции. – Мн., 2015. – С.123–127.

[3] Ковалевич, О.В. Оценка общего функционального состояния человека на основе стабилотрии / О.В. Ковалевич, Н.В. Щербина // 52-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР. – Мн., 2016. – С.101–102.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Результаты  
тестирования

Таблица А.1 – Результаты тестирования

Тест «Равновесие»				
	I проба	II проба	III проба	IV проба
Общий	0.63±0.13	0.76±0.1	0.77±0.11	0.83±0.09
Мужчины	0.6±0.12	0.74±0.11	0.75±0.1	0.8±0.09
Женщины	0.67±0.11	0.81±0.125	0.85±0.1	0.9±0.08
Мужчины с плоскостопием	0.5±0.14	0.54±0.11	0.6±0.1	0.65±0.1
Тест «Воспроизведение»				
Общий	0.67±0.11	0.79±0.1	0.83±0.1	0.9±0.086
Мужчины	0.68±0.11	0.79±0.09	0.83±0.1	0.9±0.09
Женщины	0.63±0.11	0.79±0.095	0.84±0.1	0.88±0.055
Мужчины с плоскостопием	0.47±0.12	0.57±0.085	0,7±0.06	0,78±0.07
Тест «Ритм»				
Общий	0.52±0.12	0.66±0.11	0.72±0.11	0.8±0.08
Мужчины	0.52±0.1	0.67±0.1	0.73±0.08	0.8±0.09
Женщины	0.55±0.1	0.66±0.09	0.7±0.06	0.78±0.05
Мужчины с плоскостопием	0.44±0.13	0.6±0.1	0.7±0.06	0.78±0.05
Тест «Реакция»				
Общий	1.28±0.18	1.095±0.16	1.09±0.11	1.07±0.1
Мужчины	1.25±0.17	1.04±0.16	1.06±0.12	1.07±0.11
Женщины	1.32±0.11	1.12±0.16	1.1±0.1	1.07±0.09
Мужчины с плоскостопием	1.4±0.19	1.06±0.15	1.06±0.12	1.09±0.1