

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛЯЦИИ ДВИГАТЕЛЬНОЙ НАГРУЗКИ ТРЕНИНГА С ВИЗУАЛЬНОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ У ПАЦИЕНТОВ С ДИАБЕТИЧЕСКОЙ ПОЛИНЕЙРОПАТИЕЙ



© Н.Д. Бабанов^{1*}, Д.В. Фролов², Е.В. Крюков², Е.Н. Панова¹, О.В. Кубряк¹

¹Научно-исследовательский институт нормальной физиологии им. П.К. Анохина, Москва

²Главный военный клинический госпиталь имени Н.Н. Бурденко, Москва

ОБОСНОВАНИЕ. Нарушение походки и баланса тела у пациентов с диабетической полинейропатией актуализирует разработку новых эффективных мер двигательной реабилитации. В этой связи проведено наблюдение, в котором использовался тренинг с биологической обратной связью по опорной реакции в условиях изменяемых параметров обратной связи.

ЦЕЛЬ. Исследовать влияние ступенчатого изменения глубины обратной связи (чувствительности) в двигательной-когнитивной задаче с визуальной обратной связью по опорной реакции на результат ее выполнения.

МЕТОДЫ. Обсервационное одновыборочное с контролируемыми условиями наблюдение. Включены 27 пациентов с диабетической полинейропатией. Все пациенты получали лечение согласно современным стандартам. Наблюдение выполнялось в одну серию в начале курса стационарного лечения. Оценка координат центра давления на силовую платформу (стабилоплатформу) — стабилметрия. Процедура включала 5 этапов управления, при которых пациент выполнял инструкцию (тренинг) со ступенчатым увеличением глубины обратной связи («чувствительности») на каждом этапе от 10 до 50% условно «нормального» значения, с шагом в 10%. Проводилась количественная оценка внешнего результата (выполнения инструкции) и параметров регуляции вертикальной позы. Принятый уровень значимости $\alpha=0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ. Все пациенты, включенные в наблюдение, продемонстрировали, что выполнение инструкции с возрастанием глубины обратной связи резко снижалось при превышении условно «нормального» значения на 30–35%. При этом исходные параметры контроля вертикальной позы у пациентов выборки не влияли на динамику результатов при выполнении задачи с визуальной обратной связью. Факторный анализ указывает на наличие единственного значимого фактора, связанного с результативностью выполнения двигательной-когнитивной задачи, — перемены глубины обратной связи.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Глубина обратной связи в двигательной-когнитивных задачах с визуальной обратной связью является ключевой характеристикой, влияющей на результативность выполнения. Возможность увеличения глубины обратной связи в диапазоне примерно до 35% от условно «нормального» показателя может быть полезной для обеспечения дифференциации нагрузок при двигательной реабилитации пациентов в целях повышения эффективности тренировок. Кроме того, в теоретическом плане предлагаемая модель двигательной-когнитивной задачи может быть актуальна при исследовании «двойных» задач, где исследуются взаимосвязи двигательных и когнитивных компонентов.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: двигательная реабилитация; диабетическая полинейропатия; стабилметрия; параметры обратной связи; вертикальная поза; баланс тела; двигательная-когнитивная задача

STUDY OF MOTOR LOAD REGULATION TRAINING WITH VISUAL FEEDBACK IN PATIENTS WITH DIABETIC POLYNEUROPATHY

© Nikita D. Babanov^{1*}, Denis V. Frolov², Evgeniy V. Krukov², Elena N. Panova¹, Oleg V. Kubryak¹

¹Anokhin Research Institute of Normal Physiology, Moscow, Russia

²Main Military Clinical Hospital named after N.N.Burdenko, Moscow, Russia

BACKGROUND: Violation of gait and body balance in patients with diabetic polyneuropathy actualizes the development of new effective measures of motor rehabilitation. In this regard, an observation was carried out in which biofeedback training was used for the reference reaction in the conditions of variable feedback parameters.

AIMS: To investigate the effect of a stepwise change in the depth of feedback (sensitivity) in a motor-cognitive task with visual feedback on the reference response to the result of its execution.

METHODS: Single-sample observational observation with controlled conditions. 27 patients with diabetic polyneuropathy. All patients were treated according to modern standards. The observation was performed in one series at the beginning



of the course of inpatient treatment. Estimation of body balance on a power platform — stabiloplatform) — stabilometry. The procedure included 5 stages of management, in which the patient followed the instructions (training) in which there was a stepwise increase in the depth of feedback («sensitivity») at each stage from 10 to 50% of the conditional «normal», with a step of 10%. A quantitative assessment of the external result (execution of instructions) and parameters of regulation of the vertical posture was carried out.

RESULTS: All patients included in the follow-up showed that the implementation of instructions with increasing depth of feedback decreased sharply when the conditionally «normal» value was exceeded by 30–35%. At the same time, the initial parameters of vertical posture control in the sample patients did not affect the dynamics of results when performing the task with visual feedback. Factor analysis indicates the presence of the only significant factor associated with the effectiveness of performing a motor-cognitive task here — changes in the depth of feedback. The accepted significance level $\alpha = 0.05$.

CONCLUSIONS: The depth of feedback in motor-cognitive tasks with visual feedback is a key characteristic that affects performance. The ability to increase the depth of feedback in the range of about 35; from conditionally «normal», can be useful for ensuring differentiation of loads during motor rehabilitation of patients in order to increase the effectiveness of training. In addition, in theoretical terms, the proposed model of the motor-cognitive problem can be relevant in the study of «dual» problems, where the relationship of motor and cognitive components is studied.

KEYWORDS: motor rehabilitation; diabetic polyneuropathy; stabilometry; feedback parameters; vertical posture; body balance; motor-cognitive task

Тренинги с визуальной обратной связью являются достаточно новым средством в медицинской реабилитации пациентов с диабетической полинейропатией [1], требующим дополнительного изучения. Цель применения подобных тренингов может связываться с существующей проблемой баланса тела у этой категории пациентов [2] и, соответственно, со снижением риска падений [3]. Полагаем, что это возможно обосновывать вероятным положительным влиянием упражнений с визуальной обратной связью в вопросах, обычно касающихся баланса тела у больных сахарным диабетом (СД), например, распределения нагрузки на стопы [4], контроля в голеностопном и коленном суставах [5], перестройки сенсорных потоков [6]. Предположения о синергии постуральных и зрительных процессов при выполнении визуальных задач в вертикальной позе — в модели когнитивного постурального контроля [7], на наш взгляд, могут быть также связаны с объяснениями вероятной пользы тренингов баланса с визуальной обратной связью. При этом исследования интерфейсов «человек-машина» могут свидетельствовать о большей роли проприоцептивной сигнализации в сравнении со зрительной для реабилитационных целей [8, 9]. Опыт, связанный с медико-биологическим обеспечением космических полетов, демонстрирует важную роль сигнализации от стоп в поддержании осанки [10]. С учетом этих и других известных нам сведений проводилось наблюдение за пациентами с диабетической нейропатией, предполагая, что в сенсорной организации вертикальной позы у них есть специфические особенности, обусловленные болезнью. Ранее на здоровых молодых добровольцах [11] было установлено, что изменение передаточной функции («чувствительности») в задаче с визуальной обратной связью является ключевым фактором, влияющим на результат выполнения, связанный с удержанием максимально стабильной вертикальной позы и слежением за визуальной целью. Однако возможные различия влияния изменения глубины обратной связи в задаче с визуальной обратной связью у здоровых добровольцев и пациентов с возможными изменениями вследствие периферической нейропатии остаются малоисследованными. Наличие технических

средств для нацеленного изменения передаточной функции [12] визуальной обратной связи, на наш взгляд, тем самым предоставляет дополнительные возможности для повышения эффективности двигательной реабилитации, различных человеко-машинных интерфейсов за счет понимания (осознанного подбора) наиболее адекватных параметров обратной связи. Использование опорных реакций (силовая платформа) в рамках задачи управления позой с целью достижения результата управления по визуальному каналу представляло собой наиболее удобную, на наш взгляд, модель типа двигательно-когнитивной задачи [13], позволяющей при изменении параметров обратной связи получить достаточную дифференциацию результатов для их четкой оценки.

ЦЕЛЬ

Целью наблюдения было исследование влияний ступенчатого изменения глубины обратной связи в двигательно-когнитивной задаче с визуальной обратной связью по опорной реакции на результат ее выполнения.

МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Обсервационное одноцентровое одномоментное выборочное с контролируруемыми условиями нерандомизированное наблюдение.

Критерии соответствия

В исследование были включены мужчины от 45 до 70 лет, с длительностью заболевания СД более 2 лет, подтвержденным клинико-функциональными и инструментальными методами диагнозом «диабетическая сенсомоторная полинейропатия нижних конечностей», показателями гликированного гемоглобина (HbA_{1c}) от 6 до 11% (на фоне проводимой терапии), наличием письменного информированного согласия пациентов на участие в исследовании.

Критерии исключения из исследования: стенокардия напряжения 3–4 функционального класса (ФК),

полинейропатии другой этиологии, психические заболевания, $HbA_{1c} > 11\%$, выраженные трофические нарушения нижних конечностей (синдром диабетической стопы выше 0 стадии по Wagner F.W. [14]).

Условия проведения

Исследование проводилось в отделении лечебной физкультуры Главного военного клинического госпиталя имени академика Н.Н. Бурденко.

Продолжительность исследования

Наблюдение выполнялось в одну серию в начале курса стационарного лечения.

Описание медицинского вмешательства

На рис. 1 представлена общая схема наблюдения, включающая 9 этапов, выполнявшихся в одну сессию, с предварительным инструктажем и обучением выполнению упражнения «Круг» на силовой платформе с визуальной обратной связью. Испытуемый в шумоизолированном помещении, без обуви, располагался вертикально, стоя на поверхности силовой платформы, руки свободно вдоль тела, взгляд перед собой — на экран, располагавшийся на расстоянии 1,5 м на уровне глаз, стопы по разметке силовой платформы.

Этапы 3–7 (тренинг «Круг» в штатной программе) представляли собой задачу по удержанию на экране метки общего центра давления испытуемого в центре круглой мишени (рис. 1). Отличия этапов — пошаговое увеличение глубины обратной связи (изменение передаточной функции, «чувствительности» силовой платформы) на каждом последующем этапе, с шагом в 10% от условно «нормального» значения, принятого за 100%, задаваемого алгоритмом штатной программой STPL. Изменение значения передаточной функции здесь — изменение масштаба отображения движения общего центра давления испытуемого с сохранением размера целевой области по отношению к экрану. Так как меняется масштаб, то ме-

няется и скорость прохода метки общего центра давления из одной точки к другой. Иными словами, можно говорить о повышении либо снижении чувствительности силовой платформы, что приводит к изменению условий управления меткой. Между этапами, за исключением 1–2 и 8–9, испытуемый отдыхал в течение минуты, сидя на стуле. Очередной этап начинался с задержкой в 8 с в целях предупреждения возможных ориентировочных реакций и реакций на смену положения тела. Команды подавались автоматически, в штатном программном обеспечении. Процедура выполнялась с учетом применяемой пациентами коррективы зрения — в прописанных офтальмологом очках, кому это требовалось.

Основной исход исследования

Основными результатами исследования были интегральный параметр статокинезиограммы Av, вычисляемый как показатель суммарной энергоёмкости статокинезиограммы, измеряемый в Джоулях, деленный на время наблюдения в секундах, а также показатель внешнего результата при выполнении тренинга: баллы — число, отражающее количество дискретных удержаний метки центра давления в мишени с учетом глубины обратной связи (чувствительности платформы), рассчитанной штатной программой прибора.

Дополнительные исходы исследования

Дополнительно оценивалась динамика соотношений интегрального параметра статокинезиограммы Av (мДж/с) при открытых и закрытых глазах как условная оценка роли зрения в сенсорном обеспечении вертикальной позы.

Методы регистрации исходов

Оценка качества поддержания вертикальной позы и результатов тренингов с применением биологической обратной связи выполнялась с помощью силовой платформы ST-150 («Мера-ТСП», Россия), имеющей

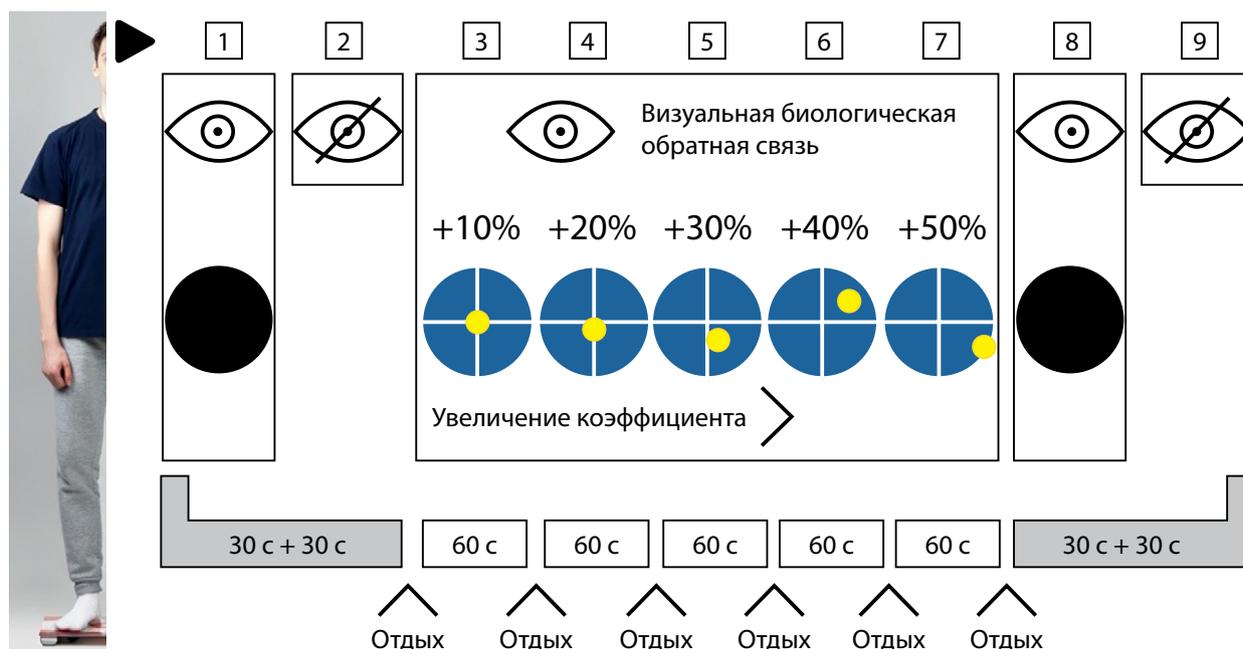


Рис. 1. Условная схема проведения наблюдения.

свидетельство о регистрации средства измерений в РФ RU.C.39.004.A N 41201 и регистрационное свидетельство Министерства здравоохранения РФ № ФСР 2010/07900, с штатным программным обеспечением STPL — коды GMDN: 43114 Balance/mobility management system platform, 43115 Balance/mobility management system application software. В процедуре с управлением меткой общего центра давления по визуальному каналу обратной связи оценивалось число регистрируемых (дискретных) удержаний метки общего центра давления в целевой зоне за период, согласно алгоритму штатной программы STPL, соответствующее результату выполнения инструкции испытуемым. В частности, в данном наблюдении оценивался параметр статокинезиограммы, учитывающий связь ее формообразующих факторов с величиной и направлением возмущающего воздействия, по общей формуле:

$$A = m \sum_1^n \frac{|vx_{i+1}^2 - vx_i^2| + |vy_{i+1}^2 - vy_i^2|}{2},$$

где параметр соотносился с суммарной энергоемкостью статокинезиограммы, которая была равна сумме «энергозатрат», вычисленных на каждом элементарном отрезке статокинезиограммы за время исследования. Данный параметр является исключительно характеристикой статокинезиограммы, который рассчитывается с использованием измеренных значений координат общего центра давления на плоскость опоры, и при этом более точно и однозначно оценивает траекторию общего центра давления испытуемого, чем, например, традиционная длина статокинезиограммы [15].

Этическая экспертиза

Данное исследование было одобрено комитетом по этике при ФГКУ «Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко» МО РФ (протокол № 172 заседания комиссии по этике от 24 июля 2015 г.).

Статистический анализ

Принципы расчета размера выборки. Многократное измерение характеристик пациентов, согласно принятой схеме исследования, определило реальный общий объем в 243 (как 9-кратное тестирование 27 пациентов) и реальный объем выборки при выполнении двигательного тренинга в 135 (как 5-кратное тестирование 27 пациентов). Отсюда достигалась заданная мощность исследования $\beta=0,80$ при уровне значимости $\alpha=0,05$ в группе из 27 пациентов (получены выборки для анализа — общая 243 и непосредственно связанная с двигательной нагрузкой 135), согласно подходу о достижении требуемых характеристик мощности за счет многократных повторяемых измерений в одной группе [16].

Методы статистического анализа данных. Вычисления и подготовка таблиц — в стандартных программах MS Excel 2010 и IBM SPSS Statistics 21. Использовались расчетные показатели, указанные выше. Различия между парными выборками — критерий Вилкоксона. Факторный анализ — методом главных компонент, с вращением варимакс, с оценкой меры выборочной адекватности по Кайзеру–Мейеру–Олкину. Проверка типа распределения — одновыборочный критерий Колмогорова–Смирнова. Принятый уровень значимости 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Объекты (участники) исследования

27 пациентов с диабетической полинейропатией. Все пациенты получали лечение согласно современным стандартам.

Основные результаты исследования

На рис. 2 представлена обобщенная характеристика результатов пациентов выборки при выполнении заданий. Выраженные изменения показателя наблюдались при повышении глубины обратной связи более чем на 20% принятого за условно нормальное значение. При этом статистически значимые различия показателя наблюдаются уже на этапе наблюдения 4 по сравнению с 3 ($p=0,009$), а также в последующем ($p<0,05$), по критерию Вилкоксона. При повышении глубины обратной связи происходит снижение контроля управления задачей, проявляющееся в увеличении интерквартильного размаха показателя от 103 до 110 на этапе 4 до размаха от 32 до 86 на этапе 6 и от 29 до 79 на этапе 7.

На этапах 3 и 4 у пациентов выборки значения показателя результативности выполнения заданий были высокими (рис. 2), что обусловило специфический вид распределения значений, отличный от нормального. С увеличением глубины обратной связи на этапах 5–7 значения показателей распределялись иначе, тест Колмогорова–Смирнова указывал на нормальное распределение. В этой связи факторный анализ проводился для этапов 5–7. Мера выборочной адекватности 0,8 и уровень значимости критерия сферичности Бартлетта $p<0,001$. Полная объясненная дисперсия указывает на наличие единственного значимого фактора — собственное значение 2,5. Интерпретация выделенного фактора как изменения глубины обратной связи, на наш взгляд, является единственно возможной. В качестве дополнительной проверки был

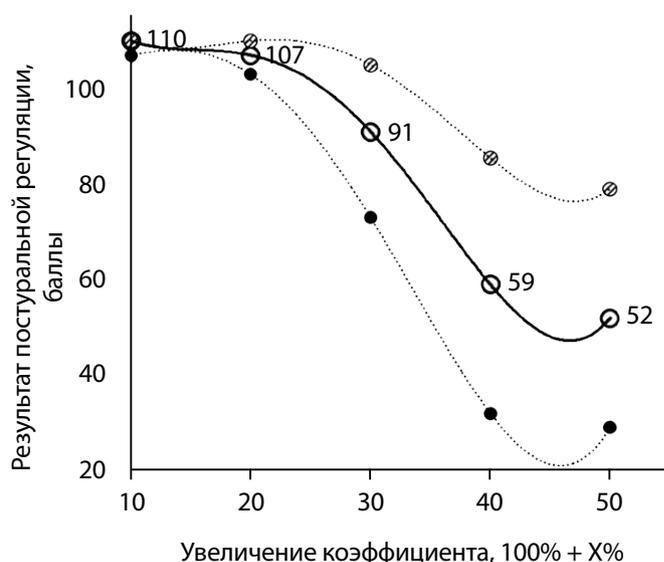


Рис. 2. Групповая характеристика (медиана, 1-й и 3-й квартили) изменений результата управления в задаче с визуальной обратной связью по опорной реакции при увеличении глубины (в %). Интерполирующие кривые — кварта-полиномы с коэффициентом детерминации 1.

проведен корреляционный анализ (р Спирмена) на наличие возможных взаимосвязей между исходными параметрами контроля позы пациентов (табл. 1) и достигнутыми результатами на этапах 5–7, который указал на отсутствие значимых корреляций.

Дополнительные результаты исследования

В табл. 1 представлены индивидуальные значения выбранного показателя на этапах наблюдения 1, 2, 8 и 9. Значения показателей у пациентов имели статистически значимые отличия при спокойном стоянии с открытыми глазами на этапах 1 и 8 (до и после выполнения задач с визуальной обратной связью, $p < 0,001$) и, аналогично, с закрытыми глазами на этапах 2 и 9 ($p < 0,001$). В обоих случаях показатель преимущественно увеличивался от-

носителю этапов 1 и 2. При сравнении соотношений показателя с открытыми и закрытыми глазами (на этапах 1, 8 и 2, 9) не наблюдалось значимых различий, что может являться оценкой неизменного в процессе наблюдения влияния зрения на контроль вертикальной позы.

Нежелательные явления

Нежелательных явлений отмечено не было.

ОБСУЖДЕНИЕ

Подход к определению «нормального» значения передаточной функции (связанного с чувствительностью, глубиной обратной связи) в данном наблюдении, по нашему мнению, может быть распространен на любые

Таблица 1. Параметры статокинезиограммы пациентов выборки с открытыми и закрытыми глазами на этапах 1, 2 и 8, 9 соответственно

№	Код пациента	Этап 1 (мДж/с)	Этап 2 (мДж/с)	Этап 8 (мДж/с)	Этап 9 (мДж/с)
1	IOP	21	43	66	116
2	UIO	23	34	37	25
3	BNM	29	53	140	231
4	XCV	31	34	103	88
5	MND	32	49	53	57
6	SDF	32	36	194	175
7	ERT	34	32	100	47
8	RTY	34	52	98	78
9	HJK	38	38	78	75
10	GHJ	40	29	109	103
11	ZXC	40	37	100	94
12	MNZ	41	55	278	130
13	JKL	44	59	96	200
14	ASF	44	52	168	250
15	YUI	55	57	182	203
16	DFG	62	63	169	274
17	FGh	65	96	246	137
18	KLZ	67	32	82	83
19	WER	68	54	410	343
20	ZXY	69	57	210	132
21	ABC	77	110	366	474
22	TYU	89	35	83	88
23	ASD	89	74	493	1615
24	QWE	140	73	702	453
25	CVB	164	105	249	468
26	DFG	271	266	407	2249
27	VBN	299	218	1219	633

системы, с помощью которых осуществляется тренинг с обратной связью с использованием общего центра давления, центра масс, оптических меток на теле, изменения суставных углов конечностей, при условии, что за «нормальное» значение здесь принимается такое, при котором «усредненный» испытуемый выполняет задачу с результативностью, близкой к максимальной. Иными словами, это условие, при котором обеспечивается преимущественно беспрепятственное, реальное управление (достижение заданного результата) испытуемым системы с визуальной обратной связью. Такое обобщение, не зависящее от конкретных настроек системы того или иного производителя, полагаем, может быть полезным в применении или интерпретации применения разных реабилитационных систем с различными алгоритмами и способами организации визуальной обратной связи.

Отдельно следует отметить, что изменение функции управления по визуальной обратной связи в предложенной модели у пациентов с диабетической невропатией принципиально не отличалось от динамики результатов, полученных нами в сходном наблюдении у здоровых добровольцев [11], что может указывать на наличие универсальных закономерностей, сохраняющих свое значение даже при сниженных возможностях испытуемых.

Резюме основного результата исследования

Полученные результаты демонстрируют влияние параметров визуальной обратной связи в двигательно-когнитивной задаче на ее результат, обозначают единственный значимый фактор. По сравнению с данным фактором исходные характеристики пациентов, например, связанные с моторным контролем (здесь — регуляция вертикальной позы), не являются значимыми. В этой связи достижение оптимальной нагрузки и режима проведения реабилитационных тренировок доступно в некотором диапазоне сложности, определяемом исключительно регулируемым внешним параметром.

Обсуждение основного результата исследования

В фундаментальном плане предложенная модель исследования и полученные результаты могут быть полезны в развитии концепций «двойных» задач — в которых процесс выполнения человеком поддержания баланса или ходьбы рассматривается как «двойная» активность, исследуются взаимосвязи двигательных и когнитивных компонентов (например [13, 17, 18]). На наш взгляд, ухудшение управляемости в системе с визуальной обратной связью при усложнении условий восприятия такой обратной связи прямо указывает на важную роль когнитивных компонентов, а также предоставляет новые возможности для исследований.

Интерполирующая кривая (рис. 2) демонстрирует возможность достижения достаточно надежного управления (примерно до 70–80% близкого к максимальному результату, соответствующему условно «нормальному» значению передаточной функции) меткой общего центра давления пациента в диапазоне примерно до 30–35% выше «нормального». Таким образом, допускается возможность создания различных режимов тренировок, более или менее сложных для пациента, за счет изменения глубины обратной связи. Вероятной, достаточно условной аналогией применения в клинической практике

таких разных режимов может быть практика, например, высокоинтенсивных и умеренно интенсивных тренировок в спорте [19]. На наш взгляд, использование режимов различной интенсивности или сложности в тренингах с визуальной обратной связью может повысить их эффективность и тем самым расширить возможности реабилитации.

Ограничения исследования

Использование стандартизованного измерительного оборудования (с установленными метрологическими характеристиками) и описанных методов расчета применявшихся показателей позволяет получить сходные данные, соответствующие состоянию участников наблюдения [11]. В этой связи основным условием для воспроизведения наблюдения является использование измерителя (силовая платформа) с подтвержденными метрологическими свойствами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Глубина обратной связи в двигательно-когнитивных задачах с визуальной обратной связью является ключевой характеристикой, влияющей на результативность выполнения. Регулирование глубины обратной связи в диапазоне, обеспечивающем достаточно результативное выполнение задачи (увеличение примерно до ~35%), может быть полезным для обеспечения дифференциации нагрузок при двигательной реабилитации пациентов в целях повышения эффективности тренировок. Предлагаемая модель двигательно-когнитивной задачи может быть актуальна при исследовании «двойных» задач, где исследуются взаимосвязи двигательных и когнитивных компонентов. Авторы будут благодарны вниманию коллег к предлагаемой работе и конструктивным замечаниям, понимая, что развитие темы повлечет много новых вопросов, требующих дополнительных исследований.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Наблюдение выполнено в рамках текущих работ ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» совместно с ФГБУ «НИИ нормальной физиологии им. П.К. Анохина».

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. О.В. Кубряк является соавтором устройств и методик, применявшихся в ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» в качестве штатного оснащения.

Участие авторов. Бабанов Н.Д. — участие в разработке дизайна исследования, мониторинг проведения наблюдения, проведение расчетов, участие в подготовке текста работы и иллюстраций; Фролов Д.В. — участие в разработке дизайна наблюдения, организация наблюдения, проведение наблюдения, участие в проведении расчетов, участие в подготовке текста работ; Крюков Е.В. — участие в организации наблюдения, участие в проведении наблюдения и мониторинг наблюдения, участие в подготовке текста; Панова Е.Н. — участие в мониторинге наблюдения, участие в подготовке текста; Кубряк О.В. — разработка дизайна наблюдения, научное консультирование, участие в проведении расчетов и подготовке текста работы и иллюстраций. Все авторы внесли значимый вклад в проведение исследования и подготовку статьи.

Благодарности. Выражаем признательность администрации и врачам отделения лечебной физкультуры ФГБУ «ГВКГ им. Н.Н. Бурденко» за помощь в организации и проведении наблюдения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- Grewal GS, Schwenk M, Lee-Eng J, et al. Sensor-Based Interactive Balance Training with Visual Joint Movement Feedback for Improving Postural Stability in Diabetics with Peripheral Neuropathy: A Randomized Controlled Trial. *Gerontology*. 2015;61(6):567-574. doi: <https://doi.org/10.1159/000371846>
- Hewston P, Deshpande N. Fear of Falling and Balance Confidence in Older Adults With Type 2 Diabetes Mellitus: A Scoping Review. *Can J Diabetes*. 2018;42(6):664-670. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jcjd.2018.02.009>
- Kukidome D, Nishikawa T, Sato M, et al. Impaired balance is related to the progression of diabetic complications in both young and older adults. *J Diabetes Complications*. 2017;31(8):1275-1282. doi: <https://doi.org/10.1016/j.jdiacomp.2017.05.014>
- Crews RT, King AL, Yalla SV, Rosenblatt NJ. Recent Advances and Future Opportunities to Address Challenges in Offloading Diabetic Feet: A Mini-Review. *Gerontology*. 2018;64(4):309-317. doi: <https://doi.org/10.1159/000486392>
- Williams DSB, Brunt D, Tanenberg RJ. Diabetic Neuropathy Is Related to Joint Stiffness during Late Stance Phase. *J Appl Biomech*. 2007;23(4):251-260. doi: <https://doi.org/10.1123/jab.23.4.251>
- Toosizadeh N, Mohler J, Armstrong DG, et al. The Influence of Diabetic Peripheral Neuropathy on Local Postural Muscle and Central Sensory Feedback Balance Control. *Veves A, ed. PLoS One*. 2015;10(8):e0135255. doi: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0135255>
- Bonnet CT, Baudry S. A functional synergistic model to explain postural control during precise visual tasks. *Gait Posture*. 2016;50:120-125. doi: <https://doi.org/10.1016/j.gaitpost.2016.08.030>
- Liu D, Chen W, Lee K, et al. Brain-actuated gait trainer with visual and proprioceptive feedback. *J Neural Eng*. 2017;14(5):056017. doi: <https://doi.org/10.1088/1741-2552/aa7df9>
- Ono Y, Wada K, Kurata M, Seki N. Enhancement of motor-imagery ability via combined action observation and motor-imagery training with proprioceptive neurofeedback. *Neuropsychologia*. 2018;114:134-142. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neuropsychologia.2018.04.016>
- Miller TF, Saenko IV, Popov DV, et al. Effect of mechanical stimulation of the support zones of soles on the muscle stiffness in 7-day dry immersion. *J Gravit Physiol*. 2004;11(2):135-136.
- Kubryak O, Panova E, Kriklenko E. Effect of biological feedback depth on the performance of instruction by healthy volunteers. *Human Sport Med*. 2018;18(5):19-26. doi: <https://doi.org/10.14529/hsm18s03>
- Cosentino C, Bates D. *Feedback Control in Systems Biology*. CRC Press; 2011. doi: <https://doi.org/10.1201/b11153>
- Bayot M, Dujardin K, Tard C, et al. The interaction between cognition and motor control: A theoretical framework for dual-task interference effects on posture, gait initiation, gait and turning. *Neurophysiol Clin*. 2018;48(6):361-375. doi: <https://doi.org/10.1016/j.neucli.2018.10.003>
- Wagner FW. *A classification and treatment program for diabetic neuropathic and dysvascular foot problems In The American Academy of Orthopedic Surgeons instructional: course lectures*. St. Louis: Mosby Year Book; 1979. P. 143-165.
- Grokhovskii SS, Kubryak OV. A Method for Integral Assessment of the Effectiveness of Posture Regulation in Humans. *Biomed Eng (NY)*. 2018;52(2):138-141. doi: <https://doi.org/10.1007/s10527-018-9799-7>
- Baker DH, Vilidaitė G, Lygo FA, et al. Power contours: Optimising sample size and precision in experimental psychology and human neuroscience. *Psychol Methods*. July 2020. doi: <https://doi.org/10.1037/met0000337>
- Hall CD, Echt KV, Wolf SL, Rogers WA. Cognitive and Motor Mechanisms Underlying Older Adults' Ability to Divide Attention While Walking. *Phys Ther*. 2011;91(7):1039-1050. doi: <https://doi.org/10.2522/ptj.20100114>
- Tisserand R, Armand S, Allali G, et al. Cognitive-motor dual-task interference modulates mediolateral dynamic stability during gait in post-stroke individuals. *Hum Mov Sci*. 2018;58:175-184. doi: <https://doi.org/10.1016/j.humov.2018.01.012>
- Costa EC, Hay JL, Kehler DS, et al. Effects of High-Intensity Interval Training Versus Moderate-Intensity Continuous Training On Blood Pressure in Adults with Pre- to Established Hypertension: A Systematic Review and Meta-Analysis of Randomized Trials. *Sport Med*. 2018;48(9):2127-2142. doi: <https://doi.org/10.1007/s40279-018-0944-y>

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ [AUTHORS INFO]

***Бабанов Никита Дмитриевич [Nikita D. Babanov]**; адрес: 125315, г. Москва, ул. Балтийская, д. 8 [address: 8, Baltiyskaya st., Moscow, 125315, Russian Federation]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0999-8818>; eLibrary SPIN: 6084-9540; e-mail: n.babanov@nphys.ru

Фролов Денис Валерьевич [Denis V. Frolov]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9405-3589>; eLibrary SPIN: 1289-2667; e-mail: frolomed@mail.ru

Панова Елена Николаевна [Elena N. Panova]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8449-716X>; eLibrary SPIN: 5049-8037; e-mail: e.panova@nphys.ru

Крюков Евгений Владимирович, д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН [Evgeniy V. Krukov, MD, PhD, Professor]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9516-6198>; eLibrary SPIN: 3900-3441; e-mail: evgeniy.md@mail.ru

Кубряк Олег Витальевич, д.б.н. [Oleg V. Kubryak, PhD in Biology]; ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7296-5280>; eLibrary SPIN: 4789-2893; e-mail: o.kubryak@nphys.ru

ЦИТИРОВАТЬ:

Бабанов Н.Д., Фролов Д.В., Панова Е.Н., Крюков Е.В., Кубряк О.В. Исследование регуляции двигательной нагрузки тренинга с визуальной обратной связью у пациентов с диабетической полинейропатией // *Сахарный диабет*. — 2021. — Т. 24. — №1. — С. 55-61. doi: <https://doi.org/10.14341/DM12371>

TO CITE THIS ARTICLE:

Babanov ND, Frolov DV, Panova EN, Krukov EV, Kubryak OV. Study of motor load regulation training with visual feedback in patients with diabetic polyneuropathy. *Diabetes Mellitus*. 2021;24(1):55-61. doi: <https://doi.org/10.14341/DM12371>