

ПРИБОРЫ И КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования, разработка, применение

Под редакцией
академика Российской академии медицинских наук
В.А. Викторова
и кандидата технических наук Е.В. Матвеева

4,85 и 4,79 элементов, т.е. не претерпевали изменения при переходе в младшую школьную (МЛШК) группу.

Показатели точности пространственной ориентации в дошкольной (ДШК) группе составили 2,74, а в младшей школьной (МЛШК) – в 10,5 раз меньше – 0,26 ($p < 0,01$). Нарушение пространственной координации отражает не только особенности тонкой моторики пациентов, но и нарушения формирования целостного перцептивного образа предъявляемой пространственной структуры, что связано с несовершенством механизмов внимания и зрительного восприятия.

Заключение

В процессе становления высших психических функций у детей дошкольного возраста при переходе к школьному обучению происходит интенсивное созревание систем произвольного внимания. В результате исследования получены нормативные показатели динамики некоторых высших психических функций в возрастном периоде 6-8 лет, что позволит проводить своевременную объективную диагностику в психоневрологической практике, давать прогноз развития ребенка и обеспечивать необходимый комплекс медико-педагогических коррекционных мероприятий.

3.2. Исследование возможностей диагностики и восстановления двигательных функций при неврологических заболеваниях

Раздел посвящен рассмотрению результатов исследования возможностей применения компьютерного постурографа «Стабилотест» для оценки особенностей произвольной и непроизвольной регуляции позы у неврологических больных. Клинические исследования выполнены в НИИ неврологии РАМН (директор – академик РАМН Верещагин Н.В.) под руководством д.м.н. Черниковой Л.А. с участием аспирантов Устиновой К.И. и Лукьяновой Ю.А. [62, 91].

Оценка показателей устойчивости производилась с помощью компьютерного стабیلграфического комплекса "СТАБИЛОТЕСТ" с билатеральной платформой, разработанного ЗАО «ВНИИМП ВИТА». Билатеральная стабیلграфическая платформа позволяет регистрировать проекцию центра массы (ЦМ) пациентов с массой тела от 15 до 120 кг в латеральном и сагиттальном направлениях для каждой ноги в диапазоне ± 60 мм от геометрического центра с допустимой приведен-

ной погрешностью не более $\pm 2\%$. Частота квантования стабилотрамм составляла 20 Гц.

Метод исследования перемещения проекции центра тяжести тела человека на горизонтальную плоскость на всем протяжении его существования привлекал к себе внимание научной и практической медицины своей простотой, наглядностью и объективностью оценки. Особую привлекательность стабилотметрический метод исследований получил с введением в обиход персональных компьютеров. Это позволило визуализировать процедуру исследования, а также путем использования мощных математических программ, количественно описать изучаемые функции, их нарушения и динамику изменения [28, 79]. Известны работы по описанию применения данного метода для исследования нарушений устойчивости вертикальной позы у больных с различными заболеваниями [96, 108-110], оценки функционального состояния и объективизации различных латентных реакций человека [82, 112].

В клинике нервных болезней метод успешно используется для изучения механизмов регуляции позной устойчивости у больных с двигательными нарушениями различной этиологии, такими как постинсультные гемипарезы [112, 125], паркинсонизм [109, 123, 127]. Так, например, у больных с гемипарезом нарушение позной координации, приводящее к неустойчивости, некоторые авторы связывают с асимметрией нагрузки на пораженную и непораженную ноги и, как следствие, смещением центра масс (ЦМ) в латеральной плоскости в сторону здоровой ноги [122, 124]. Другие авторы считают, что нарушение равновесной функции определяется дефицитом соматосенсорной информации [114] и недостаточной скоростью коррекционных позных реакций в ответ на изменение положения [108, 119]. У больных с паркинсонизмом нестабильность позы, по мнению некоторых авторов, может быть связана с увеличением скованности в голеностопном суставе и замедленностью постуральных рефлексов [109, 123, 127].

Компьютеризация стабилотметрии позволила также осуществить разработку новых реабилитационных технологий, в основе которых лежит метод произвольного управления положением центром массы (ЦМ) с использованием обратной связи (биоуправление по стабилотграмме). Метод биоуправления по стабилотграмме или баланс-тренинг

используют для тренировки статической и динамической устойчивости [96, 113, 116, 126, 129, 131]. Последняя предполагает формирование навыка сохранения равновесия в критических (моделируемых) положениях, когда центр массы (ЦМ) вынужденно смещается самим больным по направлению к границе площади опоры и обратно в центр [113, 131], что, как известно, и уменьшает устойчивость человека, как жесткого тела. Также отмечено позитивное воздействие метода на асимметрию вертикальной позы больных, скорость ходьбы, способность к бытовому самообслуживанию [116, 126, 129].

Но следует отметить, что бурное развитие восстановительной медицины, требует постоянного совершенствования стабилотметрических средств. Исследования, проводимые, в основном, на моноплатформах не отражают в полной мере особенностей поддержания вертикальной позы. Так, например, у больных с гемипарезами они не позволяют диагностировать функциональные отличия пораженной и непораженной ног. Кроме того, моноплатформы ограничивают возможности использования функциональных проб, предполагающих различное положение стоп. Также следует отметить, что используемые обычно в качестве показателей позной устойчивости длина кривой и площадь перемещения проекции центра массы (ЦМ), достаточны лишь для анализа вертикальной позы у здоровых людей, но не всегда отражают все особенности нарушения позной регуляции у больных с двигательными нарушениями.

Задачами настоящего исследования являлись:

- 1) выявление особенностей поддержания вертикальной позы у больных с различными двигательными нарушениями (постинсультными гемипарезами, паркинсонизмом) при использовании компьютерно-стабилографического комплекса;

- 2) оценка эффективности применения разработанных программ тренировки устойчивости вертикальной позы в реабилитации больных с двигательными нарушениями различного генеза.

Материал и методы исследования

Всего было исследовано 56 больных (24 женщины и 32 мужчин) в возрасте от 22 до 75 лет (средний возраст 47,8 лет), в том числе 43 больных с постинсультными гемипарезами и 13 - с паркинсонизмом. Кроме того, для определения стандарта стабилотграфических показате-

лей было обследовано 50 неврологически здоровых лиц без патологии опорно-двигательного аппарата.

У больных с гемипарезом исследования проводились в трех положениях, последовательно по 30 секунд в каждом: при спокойном стоянии (стопы параллельны на ширине равной длине стопы) с открытыми (1) и закрытыми глазами (2), и в центральном положении с обратной связью (3), при котором требовалось, равномерно распределяя вес тела на обе ноги, совместить и удерживать в течение 30 сек проекцию центра массы (ЦМ) в геометрическом центре на экране.

Обследование больных с паркинсонизмом проводилось в четырех положениях, длительностью 20 сек каждая: при спокойном стоянии (но, в отличие от больных с гемипарезом, стопы вместе) с открытыми (1) и закрытыми (2) глазами, и при произвольных движениях - поворотах туловища вправо (3) и влево (4).

Здоровые испытуемые были распределены на две соответствующие группы: первая группа (34 человека) обследовалась по программе, разработанной для больных с гемипарезом, а вторая (16 человек) - по программе, предназначенной для больных с паркинсонизмом.

Регистрировались латеральные и сагиттальные стабилотграммы общего центра масс (ЦМ), центра масс правой и левой ноги (ЦМП, ЦМЛ). На основе стабилотграмм вычислялись следующие показатели: средняя скорость ЦМ (V мм/с); средний радиус отклонения ЦМ (R мм); весо-распределение (W %), который являлся производной от математического ожидания сагиттального смещения ЦМ и рассчитывался в % от общей нагрузки на две ноги, и средний полупериод смещения ЦМ в латеральной (T_x) и сагиттальной (T_y) плоскостях, отражающий время возвращения ЦМ в равновесное положение.

Кроме того, был введен дополнительный показатель, определяемый как угол асимметрии (A_n). Данный показатель отражает отношение разности латеральных смещений центров масс правой и левой ног, приведенное к поперечной оси (расстоянию между продольными осями) платформ. При преимущественном смещении вперед проекции ЦМ правой ноги, величина угла определялась как положительная, а левой ноги - отрицательная. При статистической обработке использовались значения модулей углов. Оценка всех стабилотграфических показателей проводилась дважды - до и после курса лечения.

Баланс-тренинг осуществлялся с помощью компьютерных стабилотграфических игровых программ. В процессе игры моделировалась ситуация выведения тела из равновесия при попытке совместить проекцию центра массы (ЦМ), отображаемую на экране монитора, с заданной мишенью. Мишень перемещалась по кругу (или эллипсу) в первом игровом задании, или возникала в произвольной последовательности во втором игровом задании. Успешность выполнения задания оценивалась по количеству совпадений с мишенью и выражалась в баллах. Ежедневная тренировка предполагала 5-6 игровых подходов. Курс обучения состоял из 10-15 тренировок.

Результаты

1. Оценка нарушений позного контроля у больных с гемипарезом

В качестве показателя, характеризующего скоростной компонент перемещения ЦМ, использовалась его средняя скорость (V), рассчитываемая в трех положениях с открытыми и закрытыми глазами, а также в центральном положении с обратной связью (табл. 3.2.1).

Таблица 3.2.1

Изменение скоростных и амплитудных показателей перемещения ЦМ в различных пробах у больных с гемипарезом и здоровых лиц.

Пробы	Средняя скорость (V мм/сек)		Средний радиус (R мм)	
	Больные	Здоровые	Больные	Здоровые
С откр. глазами	20,5±6,8	15,1±5,4	10,2±4,4	9,8±4,7
С закр. глазами	26,3±9,5***	17,3±7,3	12,0±7,2	10,4±3,5
Центр. полож.	26,5±11,4***	17,4±6,7	11,0±5,7	9,8±4,8

*** $p < 0,001$

Достоверное увеличение значений V в удобной стойке (проба с открытыми глазами) и в условиях ограниченного сенсорного контроля (проба с закрытыми глазами) в группе больных подтверждает факт нарушения устойчивости у больных с гемипарезом. Вместе с тем, интересен факт значительного возрастания V в центральном положении

с обратной связью, при котором требовалось произвольно переместить проекцию центра массы (ЦМ) в геометрический центр. Центральное положение более выгодно с точки зрения биомеханики, так как, именно положением проекции центра массы (ЦМ) по отношению к площади опоры определяется устойчивость человека, как жесткого тела. Чем ближе проекция центра массы (ЦМ) к центру опорной поверхности, тем устойчивее тело.

В табл. 3.2.1 также представлены значения среднего радиуса (R) отклонения проекции центра масс (ЦМ) в трех положениях, отражающие амплитуду колебаний проекции центра массы (ЦМ). Незначительная достоверность отличий показателей групп больных и здоровых испытуемых, а также небольшая разница в динамике показателей в различных положениях и при различных условиях сенсорного контроля, вероятно, могут свидетельствовать о том, что гемипарез, как следствие инсульта, мало влияет на амплитуду смещения проекции центра массы (ЦМ).

К показателям асимметрии смещения центра масс можно отнести показатель весо-распределения (W). Его средние значения для больных, в зависимости от степени тяжести пареза, определяемой по шкале НИИ неврологии, представлены в табл. 3.2.2.

Таблица 3.2.2.

Показатель весораспределения в % (W) у больных с различной степенью тяжести гемипареза.

Степень пареза	Легкая	Умеренная	Выраженная	Грубая
Весораспределение	40,1±6,9 ***	29,9±5,2 ***	19,3±6,1 ***	11,5±4,2 **

*** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$

Корреляционный анализ выявил обратную зависимость степени пареза от W ($r = -0,85$), что свидетельствует об информативности данного стадиографического показателя.

Угол асимметрии определял неравномерность нагрузки на пятку и носок обеих ног (табл. 3.2.3).

Таблица 3.2.3.

Изменение угла асимметрии (A_n) в различных пробах у больных с право и левосторонним гемипарезом.

	ПРОБЫ		
	С открыт. глазами	С закрыт. глазами	В центр. положении
Лев. Гемипарез	-8,9±8,8	-9,4±9,6	-4,54±10,1
Прав. Гемипарез	10,0±9,3	11,1±9,9	9,9±11,9
Здоровые	1,8±2,3	2,0±3,1	1,7±2,4

На стороне пораженной ноги центр массы (ЦМ) смещался вперед по направлению к носку, поэтому векторы смещения у больных с лево- и правосторонним гемипарезом были разнонаправленными, а величина угла зависела от стороны локализации очага поражения в правом или левом полушарии ($p < 0,001$). Достоверно отличными были модули значений больных с гемипарезом от группы здоровых испытуемых ($p < 0,001$). Вероятно, наличие угла асимметрии смещения ЦД правой и левой ног является еще одним проявлением нарушения вертикальной позы, возникающим при наличии гемипареза.

2. Оценка нарушений позного контроля у больных с паркинсонизмом.

У больных с паркинсонизмом, помимо V, R и A_n , оценивались также показатели среднего полупериода по латеральной и сагиттальной плоскостям (T_x и T_y). При спокойном стоянии с открытыми глазами, в отличие от здоровых, у больных с паркинсонизмом были достоверно уменьшены T_x , T_y и достоверно увеличен A_n , в то время как показатели средней скорости (V) и среднего радиуса (R) достоверно не отличались от величины у здоровых испытуемых (табл. 3.2.4).

При пробе с закрытыми глазами у больных с паркинсонизмом, также как у здоровых лиц, отмечалось достоверное увеличение показателя V и отсутствие изменений показателей среднего радиуса

Таблица 3.2.4.

Показатели устойчивости вертикальной позы у больных с паркинсонизмом и здоровых лиц при различных пробах.

Про-бы	Показатели									
	Средняя скорость (V)		Средний радиус (R)		Средний полупериод (Tx)		Средний полупериод (Ty)		Угол асимметрии (An)	
	Здо-ро-вые	Бо-ль-ные	Здо-ро-вые	Бо-ль-ные	Здо-ро-вые	Бо-ль-ные	Здо-ро-вые	Бо-ль-ные	Здо-ро-вые	Бо-ль-ные
Гла-за от-кры-ты	15,2 ± 0,77	16,9 ± 2,6	10,7 ± 0,95	11,3 ± 1,25	5,2 ± 0,54	2,15 ± 0,45 **	6,04 ± 0,7	3,6 ± 1,1 **	6,45 ± 0,89	11,1 ± 1,23 **
Гла-за за-кры-ты	21,6 ± 2,5 **	20,5 ± 2,5 *	8,9 ± 1,1	11,3 ± 1,1	1,3 ± 0,2	3,4 ± 1,8	2,4 ± 0,24	3,4 ± 1,8	5,5 ± 1,08	12,6 ± 2,7
Пово-рот туло-ви-ща	21,3 ± 1,3 **	17,2 ± 0,9	14,4 ± 1,2 **	15,6 ± 1,4 **	5,25 ± 1,4	5,0 ± 0,81 **	4,1 ± 0,9 *	3,6 ± 0,45	17,6 ± 2,6 ***	10,3 ± 1,7 **

*** $p < 0,001$, ** $p < 0,01$, * $p < 0,5$

(R) и угла асимметрии (An). В то же время, в отличие от здоровых лиц, у больных с паркинсонизмом не отмечалось выраженного изменения показателей среднего полупериода (Tx и Ty), значительно уменьшающихся у здоровых. По нашему мнению, это может являться отражением снижения компенсаторных реакций поддержания верти-

кальной позы у больных с паркинсонизмом в условиях ограничения сенсорного контроля.

В этом исследовании стабилотографические показатели при поворотах туловища влево и вправо как у здоровых лиц, так и у больных с паркинсонизмом были объединены в одну группу и оценивались как проба «Поворот туловища». При произвольных поворотах туловища у здоровых лиц наблюдалось достоверное увеличение таких показателей как V, R и An. При этом отмечалось снижение среднего полупериода по сагиттальной плоскости (Ty). В то же время средний полупериод по латеральному направлению (Tx) достоверно не изменялся. Полученные данные, по-видимому, отражают включение компенсаторных реакций поддержания устойчивости у здоровых лиц преимущественно в сагиттальной плоскости. У больных с паркинсонизмом изменение показателя среднего полупериода отмечалось только в латеральном направлении (Tx). При этом, также как у здоровых лиц, при поворотах туловища у больных с паркинсонизмом наблюдалось достоверное увеличение средней скорости (V) и среднего радиуса отклонения (R). Важно отметить, что в отличие от здоровых лиц, у которых при пробе с поворотом туловища наблюдалось естественное выраженное увеличение угла асимметрии позы (An), у больных с паркинсонизмом угол асимметрии достоверно не изменялся.

3. Оценка компенсации нарушения устойчивости вертикальной позы.

С целью оценки возможности компенсации дефицита позного контроля методом баланс-тренинга, проведено сравнительное изучение стабилотографических показателей до и после лечения (табл. 3.2.5).

Анализируя полученные данные, можно сказать, что компенсация позного дефицита связана во-первых, с уменьшением показателей асимметрии смещения ЦД – величин весо-распределения и угла асимметрии, а во-вторых, с уменьшением средней скорости ЦД в произвольно моделируемом положении, и в условиях ограниченного сенсорного контроля. Следует подчеркнуть что в данной таблице использовались модульные значения угла асимметрии.

После курса баланс-тренинга у больных с паркинсонизмом отмечалась тенденция к увеличению угла асимметрии при поворотах

Таблица 3.2.5.

Показатели устойчивости вертикальной позы у больных с гемипарезом до и после курса баланс – тренинга.

Пробы	Показатели	До трениров-ки	После трениров-ки
С открытыми глазами	Ср. скорость (V)	20,5±6,8	18,2±6,0
	Ср. радиус (R)	10,2±4,4	10,2±3,4
	Весо-распределение (W)	28,2±11,7	38,9±10,6***
	Угол асимметрии (An)	10,3±9,4	6,0±1,5**
С закрытыми глазами	Ср. скорость (V)	26,3±9,5	23,4±9,4***
В центральном положении	Ср. скорость (V)	26,5±11,4	22,9±8,2*

***p<0,001, **p<0,01, *p<0,5

туловища и увеличение показателей среднего полупериода по латеральному и сагиттальному направлениям.

Обсуждение результатов

К особенностям, которые удалось выявить в процессе исследования благодаря использованию билатеральной платформы, можно отнести, во-первых асимметрию вертикальной позы. У больных с гемипарезом этот факт выражался в значительном уменьшении величины нагрузки на пораженную ногу. Важно подчеркнуть, что явление недозагруженности пораженной ноги хорошо известно практическим специалистам, работающим в области двигательного восстановления, но количественно оценить его возможно только при использовании билатеральной платформы. Обратная зависимость степени пареза от показателя весо-распределения позволяет говорить об информативности данного стадиографического показателя при определении клинических нарушений, и его значимости при планировании программы двигательной реабилитации и при оценке возможных компенсаторных явлений.

Как у больных с гемипарезами, так и с паркинсонизмом, позная асимметрия выражалась в значительном увеличении модуля угла асимметрии, по сравнению со здоровыми испытуемыми. У больных с гемипарезом это вероятно является проявлением функционального двигательного дефицита перонеальной мышечной группы пораженной ноги, в результате чего, центр масс смещается в сторону носка. А у больных с паркинсонизмом, по-видимому, это связано с асимметрией изменения мышечного тонуса обеих ног. Так как модульные значения практически не изменяются в различных положениях, для оценки вертикальной позы у больных с гемипарезом вполне достаточно величины угла в удобной стойке. В то же время, у больных с паркинсонизмом при функциональных пробах с произвольным поворотом туловища этот показатель отражает величину поворота тела и может быть использован для оценки эффективности проводимой терапии.

Достоверное увеличение средней скорости ЦМ у больных с гемипарезом происходило в центральном положении. Достоверное отличие результатов больных от группы здоровых подтверждает нарушение устойчивости у данной группы больных. Причем возрастание средней скорости в пробе с закрытыми глазами и в центральном положении доказывает, что основное нарушение функции равновесия у больных с гемипарезом происходит в условиях ограниченного сенсорного контроля (с закрытыми глазами) и произвольной регуляции положения центра массы (ЦМ). Значительное возрастание средней скорости в центральном положении с обратной связью, несмотря на его выгоду с точки зрения биомеханики, свидетельствует о значительном уменьшении устойчивости позы при ее произвольном контроле.

Незначительная достоверность отличий показателей изменения среднего радиуса отклонения ЦМ у больных с гемипарезом и группы здоровых испытуемых, а также небольшая разница в динамике показателей в различных положениях, и при различных условиях сенсорного контроля, вероятно могут свидетельствовать, что для оценки позы достаточно использовать значение среднего радиуса отклонения в естественной стойке.

У больных с паркинсонизмом наблюдались те же изменения показателей средней скорости ЦМ и среднего радиуса, что и у здоровых лиц, как при спокойном стоянии с открытыми и закрытыми глазами,

так и при поворотах туловища. Наиболее интересные данные были получены при анализе временных показателей – среднего полупериода по латеральному и сагитальному направлениям, а также при оценке угла асимметрии позы. Оказалось, что уже при спокойном стоянии с открытыми глазами именно эти показатели у больных с паркинсонизмом достоверно отличаются от нормы. Однако для интерпретации полученных данных, по-видимому, необходим более детальный анализ этих данных и сопоставление их с клинической картиной заболевания, что будет способствовать в дальнейшем раскрытию механизмов нарушения и компенсации устойчивости позы у больных с паркинсонизмом.

Наблюдалось положительное воздействие компьютерных стабилографических игровых программ, вызывающее улучшение у больных обеих групп показателей статической и динамической устойчивости после проведенного курса баланс-тренинга.

Заключение

Таким образом, используя комплекс «Стабилотест» ЗАО «ВНИИМП-ВИТА» с билатеральной платформой, удалось на основании серии исследований осуществить практические разработки в области двигательной реабилитации неврологических больных:

1. Получены количественные характеристики нарушений позного контроля у больных с гемипарезом и паркинсонизмом, позволившие выявить ряд особенностей регуляции поддержания вертикальной позы в различных положениях.

2. Определены, как наиболее информативные и рекомендованы для оценки нарушения устойчивости функциональные пробы: с поворотом туловища для больных с паркинсонизмом и с произвольной регуляцией положения ОЦМ для больных с гемипарезом.

3. Введены и предложены для оценки инициальных нарушений устойчивости, эффекта восстановительных мероприятий, а также при прогнозировании восстановления функций показатели угла асимметрии, весо-распределения и среднего полупериода ЦМ по латеральному и сагитальному направлениям.

4. Разработаны сценарии реабилитационных тренировок, позволяющие скорректировать позный дефицит больных с различными двигательными нарушениями.

3.3. Исследования двигательных функций у детей дошкольного возраста

Настоящий раздел относится к оценке возможностей инструментального исследования двигательных функций у детей дошкольного возраста. Исследования проведены совместно со специалистами Научно-терапевтического центра по профилактике и лечению психоневрологической инвалидности (руководитель - д.м.н., профессор И.А. Сворцов).

Формирование двигательной системы у детей неразрывно связано с развитием других психоневрологических функций (перцепции, интеллекта, речи и др.). Отклонения в формировании двигательных функций в детском возрасте могут быть связаны не только с парезами, гиперкинезами, атаксией, но также и при нарушениях высших психических функций, расстройствах гнозиса и праксиса, аутизме и умственной отсталости [37, 67, 75-78, 111, 120, 121].

Проблема изучения организации движений весьма актуальна. Изучение показателей двигательного развития интересует не только клиницистов и физиологов, но и биофизиков. Своевременное выявление нарушений психомоторного развития человека в раннем возрасте чрезвычайно важно для проведения восстановительных и коррекционных мероприятий. Для оценки уровня развития двигательных функций у детей используются клинические неврологические и психологические методы (в частности, разработанные в Научно-терапевтическом центре компьютеризированные программы «Профиль развития» и «АНТ», позволяющие установить уровень развития статикомоторных функций у ребенка и топик функциональной недостаточности в коре головного мозга), а также психофизиологические методы (приборы «Атакситест», «Стабилотест» и комплекс «КПФК-99», разработанные в НИИ медицинского приборостроения РАМН).

Своевременное выявление нарушений психомоторного развития человека в раннем возрасте чрезвычайно важно для проведения восстановительных и коррекционных мероприятий.