



УДК 531/534: [57+61]

БИОМЕХАНИЧЕСКАЯ УСТОЙЧИВОСТЬ СТРУКТУР ГОЛОВНОГО МОЗГА К ПОВЫШЕНИЮ ВНУТРИЧЕРЕПНОГО ДАВЛЕНИЯ

А.П. Ефимов

Межрегиональный центр восстановительной медицины и реабилитации, Россия, 603087, Нижний Новгород, Казанское шоссе, 16/1, e-mail: antef@nm.ru

Аннотация. Представлен результат сравнительного анализа биомеханической устойчивости различных структур головного мозга в сопоставлении с витальными функциями и клинической значимостью соответствующих отделов мозга при патологии. Исследования проведены на основе метода микромоторной диагностики в сочетании с инструментальными методами доказательной медицины.

Ключевые слова: головной мозг, суправентрикулярные и субвентрикулярные отделы головного мозга, гистомеханическая устойчивость головного мозга, микромоторная диагностика, внутричерепная гипертензия.

ВВЕДЕНИЕ

Заболевания головного мозга поражают всё нарастающее количество детей и взрослых и выступают основной причиной инвалидизации людей зрелого трудоспособного возраста. Внедрение в медицинскую практику методов компьютерной томографии и особенно магнитно-резонансной томографии дало мощный инструмент структурной диагностики состояния отделов пораженного головного мозга [2]. Тем не менее патогенез многих заболеваний головного мозга остается за пределами диагностики с помощью магнитно-резонансной томографии, а конкретная локализация поражения головного мозга при многих неврологических заболеваниях [1, 10] не имеет объективного инструментального обоснования. Описание перспектив представляемого метода микромоторной диагностики в этом направлении составляет цель статьи.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

В течение многих лет автором проведен сравнительный анализ состояния структур головного мозга у детей и взрослых с различными заболеваниями головного мозга в ходе их амбулаторно-семейной реабилитации [5, 6]. Инструментальный анализ состояния больных каждые три месяца в течение одного года и более позволил увидеть структурно-функциональные изменения всех отделов головного мозга в динамике восстановления, что повысило объективность получаемых данных. Сведения о характере заболеваний, количестве наблюдений и возрасте пациентов приведены в табл. 1.

Инструментальные методы исследования, применявшиеся при обследовании наших пациентов:

- 1) краниография (рентгенография черепа);
- 2) функциональная рентгенография шейного отдела позвоночника (рентгенография, выполняемая в определенных позициях);

Таблица 1

Сводные данные об исследуемом контингенте пациентов

№ п/п	Диагноз	Количество больных	Возраст, лет
1	Последствия родовой травмы	1245	4–18
2	ДЦП (детский церебральный паралич)	844	1–18
3	Эпилепсия и эписиндромы	758	1–58
4	ЗПР (задержка психического развития)	476	1–10
5	Гипердинамия (повышенная двигательная активность)	462	1–10
6	Аутизм (склонность к болезненной самоизоляции)	262	1–14
7	Гидроцефалия (водянка мозга)	653	1–18
8	Микрокrania (малый череп)	426	1–14
9	Последствия инсульта	321	41–68
10	Церебрастения (синдром мозговой усталости)	345	32–70
11	Депрессия	362	18–60
12	Умственная отсталость I–III степени	624	10–22
Всего		6778	1–70

- 3) магнитно-резонансная томография (классическая и сосудистая);
- 4) спектральная электроэнцефалография;
- 5) микро моторная диагностика.

В основу микро моторной диагностики положены достижения биомеханики микро движений, исследование которых стало новым способом получения информации о жизнедеятельности живых систем, так как характер микро движений отражает особенности функционального состояния и тип патологических процессов в организме, особенно в опорно-двигательном аппарате и нервной системе. Современными исследованиями установлено, что деятельность нервно-мышечной системы сопровождается не только биоэлектрическими явлениями, но и механическими колебаниями биомембран и сократительных элементов мышечных волокон – микро движениями, которые регистрируются приборами в диапазоне частот от 0,2 до 200 Гц. Тремор, наблюдаемый визуально, охватывает диапазон от 0,2 до 20 Гц, частоты выше 20 Гц нашему зрению не доступны (рис. 1) [8]. Понятие «тремор» включает только 10% низкочастотных микро движений, в то время как 90% микро движений весьма информативны для оценки функционального и патологического состояния органов движения. В изучении микро движений перед нами открылась «целина» информативных частот, новый канал для наблюдения за состоянием живого организма. Генераторами микро движений являются не только импульсы из центральной нервной системы (головной и спинной мозг), но и местные рефлекторные влияния, резко усиливающиеся по законам биорезонанса при функциональных и органических процессах в организме.

Регистрация микро движений (рис. 2) возможна и производится с помощью специального высокочувствительного датчика ускорения – медико-технического пьезоакселерометра в течение 5–30 с. Процедура неинвазивна, безболезненна, безвредна и может многократно повторяться, так как в ней используется механический датчик. Точки локализации датчиков определяются задачами исследований. Специальная компьютерная программа позволяет анализировать сигнал, поступающий из вибродиагностического блока.

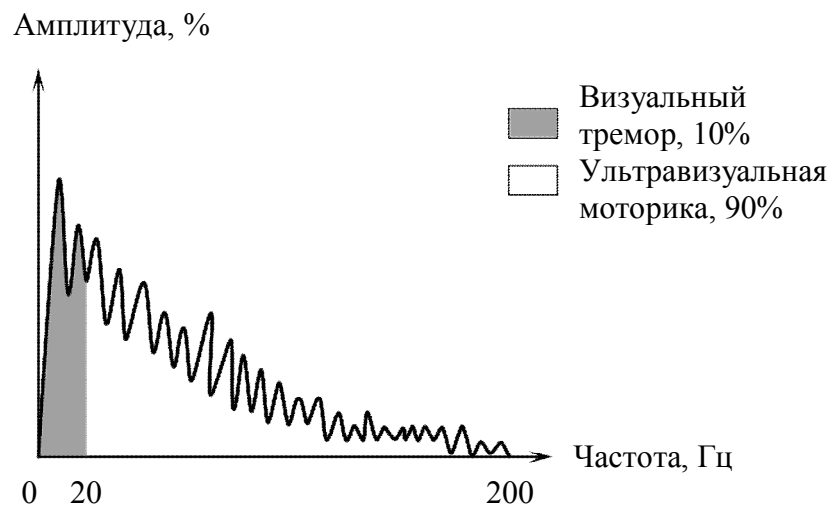


Рис. 1. Биомеханика микродвижений человека

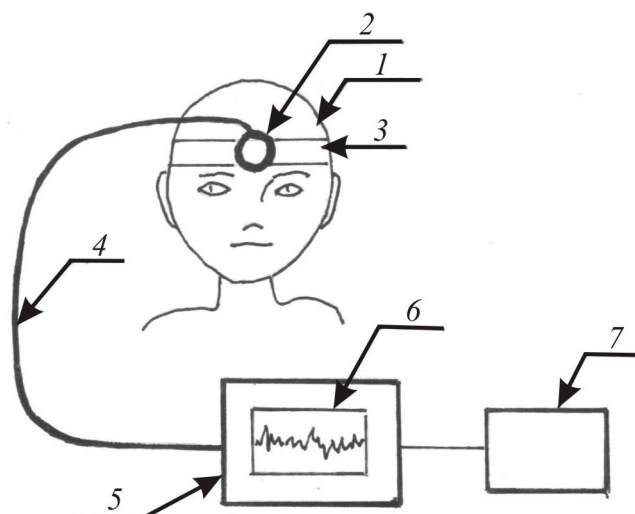


Рис. 2. Схема метода исследования

Микромоторная диагностика [7–9] проводилась по следующей методике (рис. 2): на центр лба (1) с помощью элемента крепления (3) устанавливается пьезометрический датчик (2). Длительность регистрации сигнала составляет 10–30 с. Датчики улавливают микродвижения тела и преобразовывают их в электрические сигналы, поступающие по соединительному кабелю (4) в электронный двухканальный блок (5). В каждом канале блока сигнал, усиленный в усилителе, поступает на полосовой фильтр, после которого, отфильтрованный от сетевых наводок, передается в аналого-цифровой преобразователь 6. Полученные цифровые потоки с обоих каналов через мультиплексор передаются в блок гальванической развязки, за счет чего осуществляется бесконтактный телеметрический способ передачи сигнала внутри блока 5. Затем информация поступает в персональный компьютер 7. В нем с помощью специальной программы анализируются полученные спектрограммы сигналов и значения энергий спектральных составляющих в диагностически значимых частотных диапазонах, энергия диапазонов оценивается в процентах от общей энергии спектрограммы.

В норме амплитудно-частотный спектр микродвижений (рис. 3) имеет следующую структуру [4].



Рис. 3. Структура амплитудно-частотного спектра

Вся площадь под кривой амплитудно-частотного спектра отражает интенсивность микродвижений (тремора), равна его интегралу (интегральный тремор) и составляет общую энергию ($E_{общ}$) амплитудно-частотного спектра микродвижений. Каждый частотный диапазон от n до t герц занимает часть площади под кривой амплитудно-частотного спектра, выделяемую в виде энергии диапазона ($E_{диапазона}$). Относительная энергия спектра, определяемая как доля исследуемого диапазона в процентах к $E_{общ}$, является основной цифровой характеристикой спектрометрии. Вся горизонтальная ось амплитудно-частотного спектра поделена на 14 информативных диапазонов.

Полученные при обследовании конкретного больного процентные значения частотных диапазонов сравниваются со значениями нормы. По степени отклонения значений от нормы оценивается степень повышения внутричерепного гистомеханического давления в структурах головного мозга. Каждой структуре соответствует свой частотный диапазон. Автором установлены диапазоны частот, соответствующие выделенным структурам головного мозга.

Верификация полученных данных произведена с помощью анализа магнитно-резонансной томографии головного мозга, а также с использованием метода электроэнцефалографии, сопоставления с данными анализатора спектра СК4 72/2, нейрохирургического измерения внутричерепного давления на аппарате “Codman” (США).

В результате микро моторного обследования пациента можно получить амплитудно-частотную спектрограмму, на основании которой создается заключение о состоянии организма. Как итог анализа многократных исследований больных (см. табл. 1) построена диаграмма (спектрограмма) гистомеханической устойчивости структур головного мозга к уровню внутричерепного давления, демонстрируемая на рис. 4 – правая половина.

Более наглядную топографическую картину создает сопоставление и сочетание такой спектрограммы с таблицей гистомеханической устойчивости структур головного мозга (табл. 2), также представленное на рис. 4.

Как видно из табл. 2 и рис. 4, структуры головного мозга имеют различную гистомеханическую устойчивость к внутричерепному давлению. Условно все изученные структуры можно разделить на три группы:

- а) малоустойчивые;
- б) средней устойчивости;
- в) высокоустойчивые.

Наиболее нежными структурами, легко подверженными воздействию внутричерепного давления (100–200%), являются мягкая мозговая оболочка, белое вещество полушарий головного мозга, мозолистое тело и лимбические центры.

Табл. 2. Гистомеханическая устойчивость структур головного мозга			Амплитудно-частотная спектрограмма					Локализация	
№ п/п	Структура головного мозга	$M \pm n$	10	20	30	40	50		мм рт.ст.
			100	200	300	400	500		%
1	Мягкая мозговая оболочка	120±10%							Суправентрикулярные
2	Кора головного мозга	220±16%	■	■					
3	Белое вещество	Демпфер							
4	Мозолистое тело	140±8%	■						
5	Лимбические центры	120–150±15%	■						
	Боковые желудочки	Амортизатор							Субвентрикулярные
6	Скорлупа	215±12%	■	■					
7	Полосатое тело	250±15%	■	■	■				
8	Бледные шары	310±18%	■	■	■				
9	Таламус	440±20%	■	■	■	■	■		
	Основание черепа	Твердь							Задняя черепная ямка
10	Ствол – ядра	320±16%	■	■	■	■			
11	Ствол – белое вещество	180±11%	■	■					
12	Мозжечок – кора	250±14%	■	■	■				
13	Мозжечок – червь	280±14%	■	■	■				
14	Мозжечок – ядра	315±17%	■	■	■				
15	Мозжечок – белое вещество	180±11%	■	■					
			0 ст.	I ст.	II ст.	III ст.	IV ст.	Внутричерепная гипертензия	
	Намет мозжечка	Амортизатор							
	Шейный отдел позвоночника	Амортизатор Демпфер						Мышечный хрящевой	

Рис. 4. Сопоставление таблицы с амплитудно-частотной спектрограммой и гистомеханической устойчивости структур головного мозга к уровню внутричерепного давления

К среднеустойчивым структурам (200–300%) относятся кора больших полушарий головного мозга, скорлупа, полосатое тело, белое вещество ствола мозга и мозжечка, мозжечок.

К высокоустойчивым структурам (более 300%) следует отнести бледные шары, таламус, ядра ствола мозга, ядра мозжечка, червь мозжечка.

Особенно следует выделить таламус – самое плотное и устойчивое ядро головного мозга, его «черный ящик».

Многолетний клинико-инструментальный анализ на основе примененных методов доказательной медицины позволяет представить ряд наблюдений по отдельным структурам, имеющим важное значение в клинической практике. Первоначальное объяснение отличительных особенностей структур дают табл. 2 и рис. 5. Следует подчеркнуть: это начало и только начало в фундаментальном познании биомеханики головного мозга. Исследования должны быть продолжены, расширены и углублены.

ОБСУЖДЕНИЕ

Обращает особое внимание высокая реактивность, чувствительность и клиническая информативность лимбических центров. Первая причина этого – низкая устойчивость лимбической системы к воздействию внутричерепного давления [3], колеблющаяся от 120 до 150% от нормы для разных ядер. Физиологическая роль лимбической системы значительна. Это центр эмоций, поведения, настроения, осознанной боли, сна, памяти, аппетита и других витальных функций. Благодаря лимбическим центрам больной человек осознает себя больным. Для познания функций лимбической системы, кроме причины гистомеханической, безусловно, необходим учет гистологических и цитологических особенностей ее ядер.

Для анализа и понимания особенностей биомеханики и гистомеханики структур головного мозга представляется целесообразным разделить их на три группы:

- 1) суправентрикулярные структуры;
- 2) субвентрикулярные структуры передней камеры черепа;
- 3) структуры задней черепной ямки – задней камеры черепа.

Такая группировка ведет к пониманию биомеханических взаимодействий нейрогенных структур со склеротомными и мезенхимальными тканями. С данных позиций в биомеханически оптимальном положении находится кора головного мозга. Несмотря на то что она относится к структурам со средней гистомеханической устойчивостью ($220 \pm 16\%$), реальный адаптационный потенциал коры весьма велик и создается рядом факторов:

- 1) амортизирующей ролью боковых желудочков субкортикально;
- 2) демпфирующей ролью белого вещества и мозолистого тела субкортикально;
- 3) демпфирующей ролью оболочек головного мозга супракортикально;
- 4) арочной пространственной конструкцией извилин больших полушарий.

Данная конструкция (рис. 5) адаптивна к векторам сил любого направления, оставляя в арке участок клеток, где вектор любой силы действует тангенциально, оказывая минимальную компрессию на данный участок коры мозга, минимально нарушая гемодинамику и метаболизм клеток коры, сохраняя их физиологическую дееспособность.

В норме рельеф плаща полушарий головного мозга определяется соотношением извилин и борозд. Между высотой извилин и глубиной борозд во всех отделах мозга в норме имеется гармония. При патологии мозга гармония нарушается. Уменьшение глубины борозд и уплощение извилин ведет к микрогирии и агирии (рис. 6, а, б), углубление борозд ведет к макрогирии (рис. 6, в), уменьшение и увеличение количества извилин – к пахигирии (рис. 6, д) и даже лиссэнцефалии (рис. 6, е).

В формировании указанных вариантов патоморфологии извилин играет роль совокупность факторов: уровень внутричерепного давления; размеры и форма черепа (микрокrania, нормокrania, макрокrania); различные варианты деформации черепа (башенный, остроконечный, плоский, уплощенный, скалообразный, шаровидный и др.); выраженность и топика гидроцефалии; условия морфогенеза и метаболизма извилин; паразитарное, микробное и вирусное поражение полушарий головного мозга.

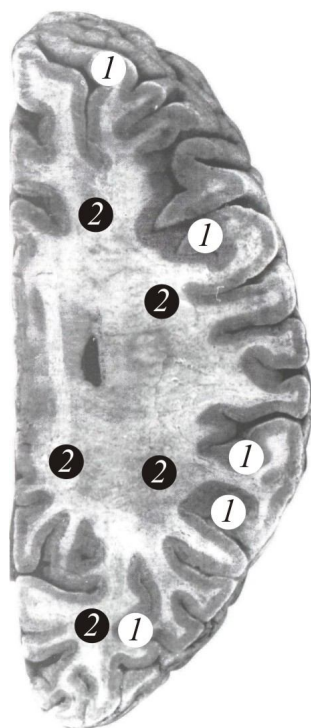


Рис. 5. Сечение головного мозга (горизонтальный разрез). Арочная структура извилин головного мозга: 1 – серое вещество (кора головного мозга); 2 – нервные волокна (белое вещество)

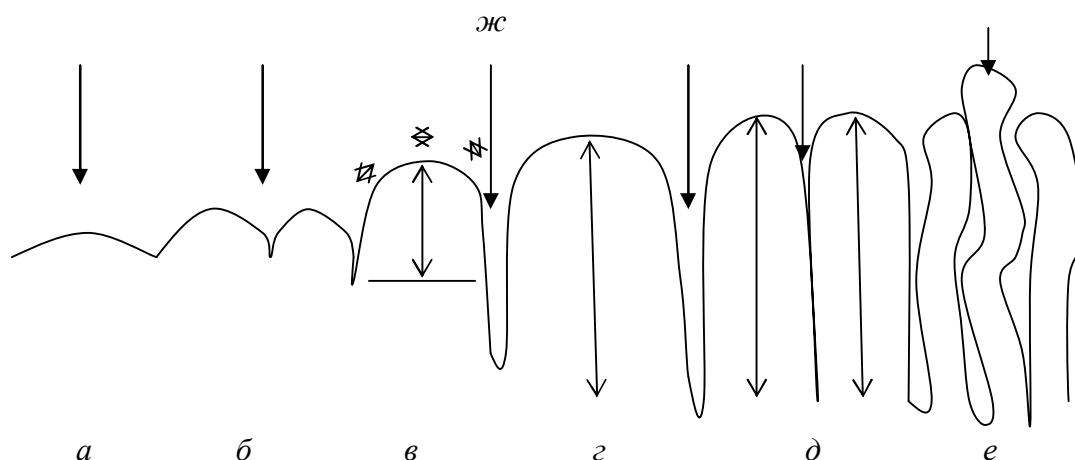


Рис. 6. Схема патоморфологии извилин головного мозга: а – агирия; б – микрогирия; в – нормогирия; г – макрогирия; д – пахигирия; е – лиссэнцефалия; жс – ликвор

В растущем мозге у детей при патологии на магнитно-резонансной томографии можно найти все переходные формы указанных морфологических типов извилин. Нередко на томограммах одного и того же больного встречается 3–4 варианта патоморфологии извилин, как на следующей схеме (рис. 6).

Следовательно, патогенез многих нарушений морфологии и физиологии головного мозга требует тщательного биомеханического анализа с объективной количественной оценкой всех действующих патологических факторов. В данной работе основное внимание уделено роли внутричерепного давления, изученной благодаря разработанному новому методу неинвазивной оценки внутричерепного давления [3, 4, 9].

Лимбические центры с точки зрения биомеханики менее приспособлены. Любое скопление жидкости в боковых желудочках – внутренняя гидроцефалия – создает для них два одновременно действующих негативных фактора:

- 1) деформацию сжатия ликвором;
- 2) деформацию растяжения увеличенным объемом боковых желудочков.

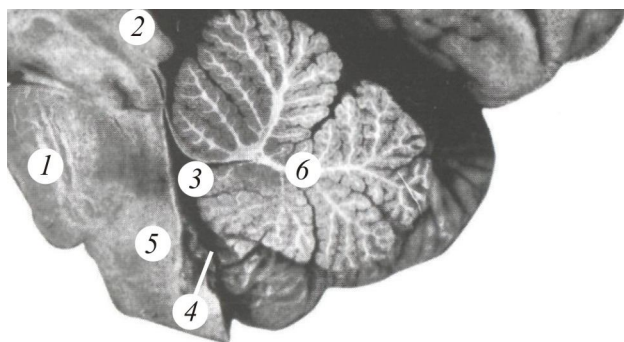


Рис. 7. Схематическое изображение мозжечка (сагиттальный разрез): 1 – Варолиев мост; 2 – пластинка четверохолмия; 3 – четвертый желудочек; 4 – сосудистое сплетение четвертого желудочка; 5 – продолговатый мозг; 6 – древо жизни (*arbor vitae*)

Субвентрикулярные структуры головного мозга среднеустойчивы к действию внутричерепного давления. Наиболее плотные и механически устойчивые среди них – таламус ($440 \pm 20\%$) и бледные шары ($310 \pm 18\%$), что определяется их анатомической локализацией на твердом костном основании черепа и переносимыми толчковыми нагрузками при ходьбе человека, беге и прыжках, а также древним филогенезом. В области таламуса и базальных ядер крайне редко встречаются кровоизлияния, инсульты, очаги колликации (чрезмерного выделения жидкости). Но именно на таламусе и базальных ядрах сказываются и сохраняются последствия черепно-мозговых травм, порой десятилетиями, вызывая явления приобретенного синдрома паркинсонизма, синдрома хронической усталости, депрессии. Субвентрикулярные структуры являются базовой причиной спастического синдрома при детском церебральном параличе, инсультах, дещеребрационной ригидности, апаллических синдромах и др.

Структуры задней черепной ямки гораздо устойчивее, чем суправентрикулярные ткани. Весьма устойчивы гистомеханически ядра ствола мозга ($320 \pm 16\%$), ядра мозжечка, палеocerebellum ($315 \pm 17\%$), несколько меньше показатели в черве мозжечка ($280 \pm 14\%$) и коре мозжечка ($250 \pm 14\%$). Белое вещество ствола и мозжечка также плотнее и гистомеханически устойчивее ($180 \pm 11\%$), чем белое вещество больших полушарий.

Максимальным гистомеханическим потенциалом устойчивости обладает кора мозжечка благодаря аркам I, II и III порядка (арки арок более мелкие). Глубокие извилины мозжечка делятся на более мелкие вторичные и третичные извилины, создавая архитектуру «древа жизни» (*arbor vitae*) (рис. 7).

Мозжечок также имеет под собой амортизатор – ликвор IV желудочка и мосто-мозжечковую цистерну под червем мозжечка.

Безусловно, вестибуломозжечковая система благодаря трехмерной конструкции рецепторного аппарата (полукружным канальцам внутреннего уха) и трехмерной арочной конструкции извилин мозжечка – центра функциональной системы – является высшей степени современной системой пространственного анализа и управления организмом в норме и при патологии.

Стволовые центры, содержащие в себе биологические часы, представляют собой систему анализа и управления процессами жизнедеятельности во времени.

Таким образом, структуры задней черепной ямки являются необходимой и достаточной системой адекватного определения положения организма в пространстве и времени. Здесь также имеются структуры оценки сил гравитации и определения структуры пространства, поэтому клинко-биомеханическая роль мозжечковой системы проявляется в следующих направлениях:

- 1) анализатор континуума пространства и времени;
- 2) главный конструктор человеческой сомы (тела);
- 3) в совокупности со стволом – главный технолог роста и развития тела в онтогенезе;

4) соответственно, любая ортопедическая патология – патология нейро-ортопедическая с этиопатогенезом, начинающимся в мозжечково-стволовой системе.

ВЫВОДЫ

1. Проведен количественный биомеханический анализ гистомеханической устойчивости структур головного мозга к повышению внутричерепного давления.
2. Биомеханическая устойчивость структур головного мозга определяется величиной и характером биомеханических нагрузок головного мозга при локомоциях.
3. В ходе эволюции человека формируются адаптивные морфофункциональные биомеханические конструкции и элементы в больших полушариях и мозжечке.
4. Эволюционно древние структуры головного мозга обладают более высокой гистомеханической устойчивостью к повышению внутричерепного давления.
5. Используемый метод и полученные данные предлагаются для внедрения в широкую медицинскую практику для диагностики, составления прогноза, проведения лечения и реабилитации больных с патологией головного мозга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Болезни нервной системы: руководство для врачей: в 2 т. / под ред. Н.Н. Яхно, Д.Р. Штульмана. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Медицина, 2001. – Т.1, Т.2.
2. Гистология, эмбриология, цитология: учебник / под ред. Э.Г. Улумбекова, Ю.А. Чельшева. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2009. – 408 с.
3. Ефимов А.П. Биомеханика взаимоотношений внутричерепного давления и периферического артериального давления // Российский журнал биомеханики. – 2008. – Т. 12, № 1 (39). – С. 8–13.
4. Ефимов А.П. Реабилитационная биомеханика переломов верхней конечности: монография. – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. мед. акад., 2010. – 348 с.
5. Ефимов А.П. Семейная реабилитация взрослых больных и инвалидов: пособие. – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. мед. акад., 2006. – 180 с.
6. Ефимов А.П. Семейная реабилитация детей с заболеваниями нервной системы: пособие. – Н. Новгород: Изд-во Нижегород. гос. мед. акад., 2005. – 224 с.
7. Ефимов А.П. Способ определения внутричерепного давления: патент № 2329760 от 19.06.2006 г.
8. Ефимов А.П. Способ определения внутричерепного давления по Ефимову А.П.: патент № 2372838 от 22.04. 2008 г.
9. Ефимов А.П. Устройство для оценки состояния нервно-мышечной системы человека: патент на полезную модель № 58022 от 03.08.2005 г.
10. Триумфов А.В. Топическая диагностика заболеваний нервной системы: вступительная статья академика РАМН Е.И. Гусева. – М.: МЕДпресс, 1998. – 304 с.

BIOMECHANICAL STABILITY OF THE BRAIN STRUCTURES TO INTRACRANIAL PRESSURE INCREASING

A.P. Ephimov (Nizhni Novgorod, Russia)

The result of the comparative analysis of biomechanical stability of various brain structures in comparison with vital functions and the clinical importance of corresponding departments of the brain at pathology is presented. Researches are carried out on the basis of a micromotor diagnostics method in the combination with instrumental methods of demonstrative medicine.

Key words: brain, supraventricular and subventricular brain departments, histomechanical stability of the brain, micromotor diagnostics, intracranial hypertension.

Получено 31 января 2012