

УДК 531/534: [57+61]

БИОМЕХАНИКА ВЗАИМОТНОШЕНИЙ ВНУТРИЧЕРЕПНОГО ДАВЛЕНИЯ И ПЕРИФЕРИЧЕСКОГО АРТЕРИАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ

А.П. Ефимов

Автономная некоммерческая организация «Нижегородский центр восстановительной медицины и реабилитации», Россия, 603163, Нижний Новгород, Казанское шоссе, 16/1, e-mail: antef@nm.ru

Аннотация. В данной статье рассматриваются вопросы биомеханики внутричерепных процессов с учетом физиологии кровообращения головного мозга и роли цереброспинальной жидкости (ликвора), в частности, механизм формирования внутричерепного давления и его соотношения с давлением артериальным – центральным и периферическим. Неинвазивные исследования с помощью программно-аппаратного комплекса "Микромоторика" позволили кратко описать полученные сведения и представить их в виде формул и диаграмм.

Ключевые слова: внутричерепное давление, гипертензия, ликвор, гидроцефалия, среднее артериальное давление, среднее венозное давление, среднее ликворное давление, среднее мозговое тканевое (гистомеханическое) давление, эффективное мозговое пропульсивное давление, компьютерный программно-аппаратный комплекс.

Введение

Вопрос о том, как внутричерепное внутримозговое давление управляет уровнем периферического артериального давления является недостаточно изученным. Причина этого, в основном, – отсутствие аппарата для измерения внутричерепного давления, аналогичного тонометру.

Научные и практические разработки, которые проводились коллективом Межрегионального центра восстановительной медицины и реабилитации (г. Нижний Новгород) по исследованию биомеханики головного мозга, не только подтвердили многие известные факты, но и дали неожиданные новые фундаментальные данные.

Известно, что организм человека как совершенная самоуправляемая живая система главной целью ставит полноценное кровоснабжение головного мозга, ради чего он напрягает пропорционально мозговой нагрузке сердечно-сосудистую систему, дыхательную систему, мышечный аппарат и др.

Чтобы понять, как организм это делает, обратимся к основополагающим цифрам анатомии и физиологии человека. Внутри черепа находятся в основном три ткани, три материала: головной мозг, кровь и цереброспинальная жидкость (ликвор). В норме они находятся в следующих пропорциях: ликвор – 7–8%, кровь – 10–16%, головной мозг – 76–83% объема черепа [1, с. 11–14], [5, с. 103], [2, с. 103–106]. В условиях нормы количество притекающей к мозгу артериальной крови и количество оттекающей от него венозной крови одинаково, т.е. имеет место состояние гомеостатического

равновесия. Следовательно, можно считать, что внутри черепа находится 7–8% артериальной крови и 7–8% венозной крови.

Кратко напомним физиологию кровообращения головного мозга. В норме среднее артериальное давление (САД) поступающей в череп артериальной крови равняется 80 мм рт.ст. Среднее венозное давление (СВД) на выходе из черепа равно 0 мм рт. ст., что означает, что сопротивления току крови нет. Среднее ликворное давление (СЛД) в черепе равно 10 мм рт. ст. [1, с. 14], [5, с. 381]. Среднее ликворное давление является внешним по отношению к головному мозгу, т.е. создает непрерывно действующее внутричерепное давление.

По третьему закону Ньютона сила действия равна силе противодействия. Поскольку в черепе в норме существует биомеханическое равновесие, среднее внутримозговое тканевое давление (СМТД) в норме также равно 10 мм рт. ст. Именно к такому давлению ткань мозга адаптирована и с таким давлением сопротивляется протеканию артериальной крови. Именно поэтому капиллярное давление в среднем равно 10 мм рт. ст., колеблясь в своих значениях от 5 до 15 мм рт. ст. в разных участках головного мозга и находясь в особенной зависимости от сокращения (систола) и расслабления (диастола) сердца и пульсации артериальных сосудов. Таким образом, чтобы протолкнуть кровь через артерии, капилляры и вены головного мозга, нужно давление не менее 10 мм рт.ст. Последнее есть давление, нужное для проталкивания крови с минимальной скоростью, чтобы только сдвинуть её с места и сообщить ей движение.

Нервные клетки головного мозга устроены так, что весь запас кислорода, доставленный с кровью, потребляют за 1 секунду, а за 1 минуту в норме и в покое для лежащего человека требуется 60–70 новых порций насыщенной кислородом крови [4, с. 116]. При интенсивной умственной и физической работе эта потребность возрастает ещё в несколько раз. Как же организм решает эту проблему? Механизм решения можно выразить следующим равенством, предложенным автором:

$$\text{СМТД} + \text{ЭМПД} = \text{САД} - (\text{СЛД} + \text{СВД}). \quad (1)$$

В этом уравнении кроме уже употреблявшихся аббревиатур появилась новая – ЭМПД. Расшифровывается она следующим образом: эффективное мозговое пропульсивное давление. Это то избыточное давление, которое требуется для прогона крови по сосудам головного мозга со скоростью, гарантирующей эффективное обеспечение кислородом нервных клеток. Если обратиться к числовым значениям уравнения (1), то оно запишется так:

$$10 \text{ мм} + 60 \text{ мм} = 80 \text{ мм} - (10 \text{ мм} + 0 \text{ мм}).$$

Опытным путем установлено, что ЭМПД в норме равняется 60–70 мм рт. ст., и эта величина является гомеостатической и индивидуальна по числовым значениям [4, с. 48]. Критическим для ЭМПД является значение, равное 25–30 мм рт. ст., ниже которого наступает смерть мозга вследствие нехватки кислорода [4, с. 48, 156].

Когда же повышается внутричерепное давление? Как показали многочисленные клинические и биомеханические исследования, оно повышается в следующих случаях:

- при накоплении ликвора внутри черепа;
- вследствие увеличения внутримозгового тканевого давления, что создает тканевое сопротивление кровотоку по мелким сосудам.

Рассмотрим первый случай. Для начала стоит обратиться к анатомо-физиологическим особенностям головного мозга. Как было отмечено выше, в норме количество ликвора в черепе составляет 7,5% объёма черепа. Ликвор вырабатывается сосудистым сплетением боковых желудочков головного мозга и распространяется по

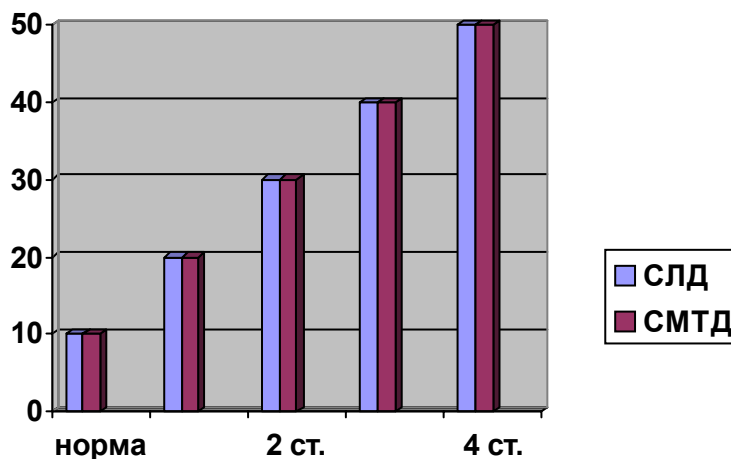


Рис. Среднее ликворное давление (СЛД) и среднее мозговое тканевое давление (СМТД) при различных стадиях жидкостной гипертензии

всем естественным щелям головного мозга. Из боковых желудочков (первый и второй желудочки мозга) поступает в третий желудочек, оттуда по Сильвиеву водопроводу – в четвертый желудочек мозга, откуда по отверстиям Люшка и Мажанди поступает в субарахноидальное пространство головного и спинного мозга. Далее по пахионовым грануляциям и вдоль венозных выпускников проходит в субарахноидальное пространство и венозные синусы мозга. По сути, ликвор окружает каждую нервную клеточку головного мозга, находясь в перичеселлюлярном пространстве. Ликвор служит ионным буфером при возбуждении и торможении нервных клеток, поставляя им ионы натрия для возбуждения и ионы калия для торможения. Натрий-калиевые насосы нервных клеток без перичеселлюлярного ликвора не могут хорошо и долго работать.

При ежедневной выработке ликвора его неизменное количество поддерживается механизмом оттока, т.е. ежедневно соответствующая порция оттекает по ликворным субарахноидальным протокам к спинному мозгу через шейный, грудной и поясничный отделы вплоть до крестцовых выходных отверстий, которые находятся в периневральных щелях конского хвоста. Известно, что все спинномозговые корешки идут к туловищу, внутренним органам, конечностям, куда попадает ликвор по периневральным пространствам. Английские ученые подсчитали, что ликвор содержит 149 веществ, вырабатываемых головным мозгом и контролирующими рост и развитие периферических тканей. Это фактор нейрогуморального управления интимными процессами формообразования тканей и поддержания тканевого иммунитета. "Ликворная река" человека течет свободно сверху вниз на протяжении всей его жизни. Но это в норме.

При патологии, чаще всего при травмах и менингоарахноидитах, возникают препятствия: сдавление смещенными позвонками и рубцами снаружи, либо формирование внутренних пробок при микробных воспалениях. Вследствие этого ликвор начинает накапливаться, появляется гидроцефалия. Различается накопление ликвора внутри мозга – это внутренняя гидроцефалия и наружная гидроцефалия, когда накопление ликвора происходит снаружи по отношению к головному мозгу. Когда обе формы сочетаются, то говорят о сочетанной, или смешанной гидроцефалии.

Если в норме ликвора 7,5% по объему и СЛД равно 10 мм рт. ст., то по мере накопления ликвора возникают 4 степени внутренней жидкостной гипертензии. Стадии возрастания СЛД представлены на рисунке.

От стадии к стадии СЛД увеличивается на 10 мм рт. ст. И это жидкостное давление ведет к повышению среднего мозгового тканевого давления (СМТД). Эти два показателя СЛД и СМТД равны между собой, кроме того, они равны внутричерепному давлению (ВЧД).

$$\text{ВЧД} = \text{СЛД} = \text{СМТД}. \quad (2)$$

Когда ВЧД нарастает до высокого уровня, кровоток внутри мозга ухудшается. Если происходит быстрый отек головного мозга, ВЧД нарастает быстро за счет обоих слагаемых, при этом кровоток не успевает перестроиться так быстро. В этом случае возникает смертельная опасность в виде удушья головного мозга. Как видно из рисунка, прирост любого из компонентов на 40 мм рт. ст. (IV стадия) является критическим, что ранее было замечено и подтверждено физиологами и нейрохирургами.

Так, ликворное гидромеханическое внутричерепное давление (ВЧД) нейрохирурги всего мира измеряют манометрами прямого инвазивного действия (открытым способом). И до недавнего времени, до появления компьютерных программно-аппаратных комплексов, в мире не существовало методов оценки внутримозгового тканевого гистомеханического давления. Только с разработкой компьютерного программно-аппаратного комплекса «Микромоторика» появилась возможность его измерения, а затем и установления закономерностей изменения как показано на рисунке. Автором уже разработан опытный образец «Гипертензиометр-01» – малогабаритный цифровой прибор для оценки среднего мозгового тканевого давления неинвазивным экспресс-методом.

Рассмотрим второй вариант – повышение внутримозгового давления вследствие изменений собственно ткани мозга.

Обычно здоровый молодой организм управляет своими параметрами без труда, точно и вроде бы незаметно. Но с возрастом состояние головного мозга и его сосудов ухудшается. Многочисленные болезни нарушают текучесть крови, уменьшают просвет сосудов и число работающих сосудов. На поврежденных участках стенок сосудов оседают кровяные элементы, вырастают атеросклеротические бляшки, сосуды теряют эластичность, стенки их становятся менее прочными. В результате возрастает отек тканей мозга, сдавливаются мелкие артериальные и венозные сосуды, капилляры, идет отложение солей, меняется химизм тканей мозга, нарастает количество грубых коллагеновых белков и тканевых рубцов (особенно после травм, сотрясений мозга), разрастаются участки склерозирования белого и серого вещества мозга, нарастает количество тканевой воды и коллоидов и т.д.

Важно понимание следующего. Если происходит увеличение СМТД, то левая часть уравнения (1) (сумма СМТД и ЭМПД) становится больше. Для компенсации произошедшего нарушения равенства должно произойти возрастание правой части этого уравнения. В основном это возрастание происходит за счет увеличения САД, немного увеличиваются СЛД и СВД. Увеличение последних двух показателей, в свою очередь, также приводит к увеличению САД. В этом случае САД поднимается за счет увеличения общего артериального давления, за счет напряжения сердца и сосудов всего тела. Возникает повышенное центральное артериальное давление (ЦАД). Если ЦАД поднялось и стабилизировалось на высоком уровне, то приходится говорить о возникновении гипертонической болезни.

Выводы

1. В условиях нормы в черепе содержатся три основных ткани в следующих процентных соотношениях: ткань головного мозга – 77,5%; кровь – 15% (артериальная – 7,5%, венозная – 7,5%); ликвор – 7,5%.
2. Сохранение постоянства среды – необходимое условие функционирования нервных клеток головного мозга. Механизм сохранения биомеханического гомеостаза описывается равенством, названным уравнением (1): $СМТД + ЭМПД = САД - (СЛД + СВД)$, где СМТД – среднее мозговое тканевое давление; ЭМПД – эффективное мозговое пропульсивное давление; САД – среднее артериальное давление; СЛД – среднее ликворное давление; СВД – среднее венозное давление. ЭМПД в норме равно 60 мм рт.ст.; значения 30–40 мм рт.ст. являются критическими для головного мозга. Изучение процессов изменения значений слагаемых данного уравнения позволяет определить зависимость центрального и периферического давления от внутричерепного давления, длительность и стабильность артериальной гипертензии является патогенетическим фактором гипертонической болезни.
3. Повышение внутричерепного давления возможно по двум алгоритмам:
 - при накоплении ликвора вследствие нарушений ликворотока и возникновении гидроцефалии, последняя может быть внутренней, внешней по отношению к головному мозгу и смешанной;
 - вследствие повышения внутримозгового тканевого давления, что бывает при различной патологии, включая возрастные изменения.
4. Внутричерепное давление соответствует среднему ликворному давлению и среднему мозговому тканевому давлению, что описывается соотношением, названным уравнением (2): $ВЧД = СЛД = СМТД$. Возрастание указанных показателей на каждые 10 мм рт. ст. соответствует стадии повышения внутричерепного давления от 1-й до 4-й, являющейся критической (см. рисунок).
5. Исследования проведены с помощью компьютерного программно-аппаратного комплекса «Микромоторика», позволившего впервые неинвазивно (а не прямым открытым способом!) оценить внутримозговое тканевое гистомеханическое давление, а также выявить закономерности его соотношений и изменений.

Список литературы

1. *Арсени, К.* Внутричерепная гипертензия: пер. с румын. / К. Арсени, А. Константинеску. – Бухарест: СРР, 1978. – 190 с.
2. *Ефимов, А.П.* Семейная реабилитация взрослых больных и инвалидов: пособие / А.П. Ефимов. – Н. Новгород: Изд-во НГМА, 2006. – 180 с.
3. *Куценко, С.В.* Основы токсикологии. Нейротоксичность / С.В. Куценко. – СПб., 2002. – 63 с.
4. *Потапов, А.А.* Доказательная нейротравматология / А.А. Потапов, Л.Б. Лихтерман, В.Л. Зельман, В.Н. Корниенко, А.Д. Кравчук; под ред. А.А. Потапова, Л.Б. Лихтермана. – М., 2003.
5. *Фридман, А.П.* Основы ликворологии / А.П. Фридман. – Л.: Медицина, Ленингр. отд., 1971. – 648 с.

BIOMECHANICAL INTERRELATIONS BETWEEN INTRACRANIAL PRESSURE AND PERIPHERAL ARTERIAL PRESSURE

A.P. Efimov (Nizhni Novgorod, Russia)

The questions of biomechanics of intracranial processes are considered taking into account physiology of cerebral circulation and cerebrospinal liquid (liquor) role. In particular, mechanism of the intracranial pressure forming and correlation of the intracranial pressure and the central and peripheral arterial pressure are discussed. Noninvasive research with using of the computer-apparatus complex "Micromotorica" has allowed to describe briefly the finding and to present data as formulas and diagrams.

Key words: intracranial pressure, hypertension, liquor, hydrocephaly, average arterial pressure, average venous pressure, average liquor pressure, average cerebral tissue (histomechanic) pressure, efficive cerebral propulsive pressure, computer-apparatus complex.

Получено 30 августа 2007