

МИНИСТЕРСТВО ЗДРАВООХРАНЕНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ

УО «ВИТЕБСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ
ОРДЕНА ДРУЖБЫ НАРОДОВ МЕДИЦИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

ДОСТИЖЕНИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНОЙ, КЛИНИЧЕСКОЙ МЕДИЦИНЫ И ФАРМАЦИИ

Материалы 70-ой научной сессии сотрудников университета

28-29 января 2015 года

УДК 616+615.1+378
ББК 5Я431+52.82я431
Д 70

Редактор:

Профессор, доктор медицинских наук В.П. Дейкало

Заместитель редактора:

доцент, кандидат медицинских наук С.А. Сушков

Редакционный совет:

Профессор В.Я. Бекиш, профессор Г.Н. Бузук, профессор С.Н. Занько,
профессор В.И. Козловский, профессор Н.Ю. Коневалова,
д.п.н. З.С. Кунцевич, д.м.н. Л.М. Немцов, профессор В.П. Подпалов,
профессор М.Г. Сачек, профессор В.М. Семенов,
доцент Ю.В. Алексеенко, доцент С.А. Кабанова,
доцент Л.Е. Криштопов, доцент С.П. Кулик,
доцент Т.Л. Оленская, профессор А.Н. Шапакова, д.м.н. А.В. Фомин.

ISBN 978-985-466-695-2

Представленные в рецензируемом сборнике материалы посвящены проблемам биологии, медицины, фармации, организации здравоохранения, а также вопросам социально-гуманитарных наук, физической культуры и высшей школы. Включены статьи ведущих и молодых ученых ВГМУ и специалистов практического здравоохранения.

УДК 616+615.1+378
ББК 5Я431+52.82я431

ISBN 978-985-466-695-2

© УО “Витебский государственный
медицинский университет”, 2015

ГИДРАВЛИЧЕСКИЙ УДАР: МЕДИЦИНСКИЙ АСПЕКТ

Цурганов А.Г., Макеенко Г.И.

УО «Витебский государственный медицинский университет»

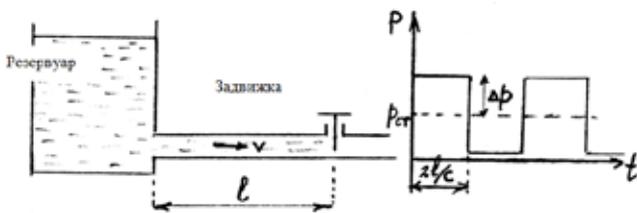
Должен ли будущий врач иметь представление о таком, казалось бы, сугубо техническом понятии, как гидравлический удар? Первый раз студент-медик встречается с понятием гидравлического удара уже на первом курсе при изучении методов измерения артериального давления. Систолическое давление, как известно, складывается из *бокового* систолического давления (статического по Бернулли) и *ударного*. Боковое систолическое давление – это и есть давление, фактически действующее в период систолы на боковую стенку артерии. Гемодинамический (гидравлический) удар (ГУ) здесь создается, например, при внезапном появлении препятствия перед движущимся в сосуде потоком крови (сосуд сжат), при этом кинетическая энергия переходит в прирост давления $\Delta p = 10 - 20$ мм рт. ст..

Теорию гидравлического удара разработал А.Е. Жуковский в 1899 г. Гидравлический удар возникает при внезапном перекрытии потока жидкости, текущей по трубе, или при мгновенном устранении перекрытия и возникновении потока жидкости (см. рис.) Прирост давления Δp , по Жуковскому, при прямом гидравлическом ударе равен

$$\Delta p = \rho \cdot v \cdot c, (1)$$

где ρ – плотность жидкости, v – скорость потока жидкости до перекрытия, c – скорость распространения ударной волны (прямым называется гидравлический удар, когда время перекрытия t_n потока жидкости, текущей по трубе, меньше периода T ударной волны $t_n < T$, если $t_n > T$, то удар называется непрямым). Период ударной волны равен:

$$T = 2\ell / c, (2)$$



Сжатая в трубе давлением $p = p_{ст} + \Delta p$ жидкость, может начать расширение под действием сил упругости в сторону резервуара и возникает обратная волна давления. Возможно неоднократное прохождение фронта ударной волны в прямом и обратном направлении (гидравлический маятник, см. рис). Вслед за гидравлическим ударом может следовать удар кавитационный, возникающий за фронтом ударной волны. В дальнейшем теория Н. Е. Жуковского была усовершенствована и для непрямого удара, для случая с перекрытием заслонки была получена формула:

$$\Delta p = T / t_n \cdot \rho \cdot v \cdot c, (3)$$

где t_n – время перекрытия потока.

Большинство авторов, занимавшихся изучением артериального давления, считают, что и в артериальной системе при определенных условиях будут наблюдаться явления типа гидравлического удара. Так, при измерении давления по методу Короткова, когда давление в манжете достигает уровня, при котором стенки артерии спадаются при диастоле до соприкосновения, а при систоле происходит быстрое открытие сосуда, то перекрытие потока крови осуществляется за время диастолы, а внезапное открытие за время систолы, т.е. создаются условия для гемодинамического удара. При нормальной частоте пульса удар будет непрямым, а при физической нагрузке или тахикардии могут создаться условия для прямого удара.

Используя формулу (3), рассчитаем примерную величину непрямого ГУ при измерении давления методом Короткова. Пусть расстояние от корня аорты (резервуар в технических системах) до проксимального края манжеты (задвижка) равно $\ell = 0,4$ м; скорость пульсовой (ударной) волны в плечевой артерии $c \approx 7,5$ м/с; скорость крови в момент начала уменьшения объема артерии $v \approx 0,5$ м/с; плотность крови $\rho \approx 1050$ кг/м³; время закрытия артерии примем равным $t_n \approx 0,3$ м/с. Тогда величина непрямого гемодинамического удара, рассчитанная по формуле (3):

$$\Delta p = T / t_n \cdot \rho \cdot v \cdot c = 2 \cdot 0,4 / 0,3 \cdot 7,5 \cdot 1050 \cdot 0,5 \cdot 7,5 \approx 1400 \text{ Па} \approx 10,5 \text{ мм РТ. ст.}$$

что примерно совпадает с экспериментальными данными.

Из формулы (3) видно, что ГУ тем больше, чем дальше место измерения давления от корня аорты (ℓ), чем больше модуль Юнга E артериальной стенки сосуда, определяющий скорость пульсовой волны c (т. н. ригидность сосуда), чем больше скорость крови в сосуде v и чем быстрее происходит перекрытие сосуда t_n . При гипотонии величина ГУ уменьшается, при гипертонии – увеличивается. По данным Н.Н. Савицкого, нарастание гемодинамического удара у гипертоников обычно сопровождается ухудшением общего состояния, усилением головных болей; нарастание ГУ часто предшествует кровоизлиянию в глазном дне, мозговому инсульту. Величина гемодинамического удара, определенная по тахоосциллограмме при гипертонических состояниях, достигает 50 – 70 мм рт. ст., что может приводить к разрыву сосудистой стенки, чему может способствовать, к тому же, ее ригидность и склеротические изменения.

Явления гемодинамического удара, подобные происходящим в сосудистой системе, происходят и в сердце. При исследовании происхождения тонов сердца была выдвинута теория гидравлического удара (Ю.Д. Сафонов и др.), согласно которой звуковые тоны образуются в камерах сердца при замыкании атриовентрикулярных клапанов. Кровь, движущаяся за клапаном, внезапно останавливается; отраженная от клапанов волна движется в сто-

рону верхушки сердца, отражается от внутренней поверхности желудочка, направляется к клапанам и снова вызывает их колебания. Таких возбуждений, по данным Ю.Д. Сафонова, может быть от 2 до 6, т.е. основными источниками звуков являются не сами клапаны, а целиком камеры сердца и магистральных сосудов, поэтому местами выслушивания тонов являются не проекции клапанов, а проекции соответствующих камер.

Похожие явления происходят, по-видимому, и при травмах, вызванных ударами по внутренним

органам, заполненным жидкостью, огнестрельных ранениях (разрывы органов, выброс содержимого через входное отверстие), падениях без амортизации с высоты и тому подобных явлениях.

Таким образом, будущих врачей, по нашему мнению, необходимо ознакомить с концепцией гидравлического удара уже в курсе медицинской и биологической физики (например, при изучении методов измерения артериального давления) для понимания и объяснения многих важных вопросов, изучаемых на старших курсах.