

К ВОПРОСУ О ДРЕНИРОВАНИИ ПЛЕВРАЛЬНОЙ ПОЛОСТИ И ИЗМЕРЕНИИ ВНУТРИПЛЕВРАЛЬНОГО ДАВЛЕНИЯ. ПРОБЛЕМЫ И РЕШЕНИЯ

Хасанов А.Р.¹, Коржук М.С.¹, Ельцова А.А.²

¹Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный медицинский университет» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Омск, e-mail: roverbover@bk.ru;

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Омский государственный аграрный университет имени П.А. Столыпина», Омск, e-mail: aa.eltsova360601@omgau.org

Адекватное дренирование плевральной полости, без сомнения, является обязательным, а зачастую и основным компонентом лечения большинства хирургических заболеваний органов грудной полости, а его эффективность зависит от множества физических параметров как легкого, так и плевры. Важным в патофизиологии плевральной биомеханики является формулировка двух различных, но не взаимоисключающих понятий: нерасправляемое легкое (unexpandable lung) и «утечка» или «сброс воздуха» (air-leak). Нерасправляемое легкое не может занять весь объем плевральной полости даже после дренирования жидкости и воздуха из плевральной полости. Неверно подобранный способ удаления патологического содержимого может не только не принести пользы, но даже усугубить патологическое состояние организма. При этом после и во время дренирования плевральной полости возможно развитие состояния pneumothorax ex vacuo, что представляет собой персистирующий пневмоторакс без фистулы. Важными параметрами, характеризующими описанные процессы в плевральной полости, являются также внутриплевральное давление (Ppl), эластичность плевральной полости. В норме на пике вдоха Ppl составляет до -80 см вод. ст., а конце выдоха: -50 см вод. ст. Падение давления плевральной полости ниже -40 см вод. ст. при удалении патологического содержимого из плевральной полости (пункции плевральной полости) без применения дополнительного разрежения является признаком нерасправляемости легкого. На настоящий момент можно твердо считать необходимым наблюдение за изменениями внутриплеврального давления при лечебно-диагностическом торакоцентезе, дренировании плевральной полости в послеоперационном периоде и любых инвазивных закрытых вмешательствах в закрытой полости плевры на всём протяжении нахождения дренажа или иглы в плевральной полости.

Ключевые слова: плевра, дренирование, манометрия, панцирное легкое.

DRAINAGE OF THE PLEURAL CAVITY AND CHANGE OF PLEURAL PRESSURE IN UNEXPANDABLE LUNG

Khasanov A.R.¹, Korzhuk M.S.¹, Eltsova A.A.²

¹Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Omsk State Medical University" of the Ministry of Health of the Russian Federation, Omsk, e-mail: roverbover@bk.ru;

²Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Omsk State Agrarian University named after P.A. Stolypin", Omsk, e-mail: aa.eltsova360601@omgau.org

Adequate drainage of the pleural cavity is, without a doubt, mandatory, and often the main component of the treatment of most surgical diseases of the thoracic organs, its effectiveness depends on many physical parameters of both the lung and the pleura. It is important in the pathophysiology of pleural biomechanics to understand the definition of two different but not mutually exclusive terms: unexpanded lung and air-leak. Unexpandable lung can not enough to fill the entire volume of the pleural cavity, even after draining fluid and air from the pleural cavity. An incorrectly selected method of removing pathological contents can not bring benefits but it even can exacerbate the pathological state of the organism. During the drainage of the pleural cavity the development of the "pneumothorax ex vacuo" state is possible which means a persistent pneumothorax without a fistula. Important parameters those characterize the described processes in the pleural cavity are also intrapleural pressure (Ppl), the elastance of the pleural cavity. Normally at the peak of inspiration Ppl is up to -80 cm H₂O of water. And the end of the exhalation: -50 cm H₂O. Ct. The drop of Ppl below -40 cm H₂O during the drainage is a sign of the lung's non-controllability. At the moment, it is possible to firmly consider that it is necessary to monitor changes in intrapleural pressure during the medical-diagnostic thoracocentesis, inserting of chest tube, the postoperative period and any invasive closed interventions on the pleural cavity during the entire length of the drainage or the needle in the pleural cavity.

Keywords: pleura, drainage, manometry, trapped lung.

Адекватное дренирование плевральной полости, без сомнения, является обязательным, а зачастую и основным компонентом лечения большинства хирургических заболеваний органов грудной полости. В современной торакальной хирургии известно множество способов дренирования плевральной полости, различающихся по локализации установки дренажа, положению дренажной трубки в плевральной полости, способу удаления и возможности контроля патологического содержимого плевральной полости, величине давления в плевральной полости и множеству других параметров. Цель дренирования плевральной полости – удаление из нее содержимого для расправления легкого на весь объем плевральной полости, восстановления жизненной емкости легкого, уменьшения болевого синдрома и предупреждения генерализации инфекционного процесса. Эффективность достижения цели непосредственно зависит от явлений, происходящих собственно в плевральной полости, биомеханики полости и ее содержимого.

Неверно подобранный способ удаления патологического содержимого может не только не принести пользы, но даже усугубить патологическое состояние организма. Осложнениями после торакоцентеза и дренирования плевральной полости могут быть повреждения диафрагмы, органов брюшной полости, сердца, органов средостения, структур корня легкого. В данном обзоре отечественной и, по большей части, зарубежной литературы мы постараемся шире раскрыть проблему зависимости изменения давления в плевральной полости при дренировании от некоторых физических параметров грудной стенки и плевральной полости.

Респираторная механика плевральной полости весьма сложна и зависит от многих факторов, включающих в себя положение тела пациента, наличие сообщения ее с окружающей средой через дыхательные пути или грудную стенку, характер патологического содержимого, тягу, создаваемую работой дыхательных мышц, целостность костного каркаса грудной стенки, эластичность самой плевры [1].

Патологическое содержимое плевральной полости может появляться по разным причинам. Однако с точки зрения механического удаления жидкости или воздуха из плевральной полости важнее состава патологического содержимого является состояние легкого и плевры, что определяет в дальнейшем как ответит плевральная полость на медицинское вмешательство.

Важным в патофизиологии плевральной биомеханики является формулировка двух различных, но не взаимоисключающих понятий: нерасправляемое легкое (**unexpandable lung**) и «утечка» или «сброс воздуха» (**air-leak**). Эти осложнения возникают не внезапно, однако значительно усложняют лечение, а их неправильная диагностика часто приводит к ошибкам во врачебной тактике.

Нерасправляемым называют легкое, неспособное занять весь объем плевральной полости при удалении патологического содержимого. При этом в плевральной полости создается отрицательное давление. К этому могут привести следующие патологические механизмы: эндобронхиальная обструкция, тяжелые фиброзные изменения легочной ткани и рестрикция висцеральной плеврой. При этом такая рестрикция подразделяется на две категории: Trapped Lung и Lung Entrapment [2]. Первая категория аналогична тому, что в отечественной литературе обозначают термином «панцирное легкое».

Термин **«Lung Entrapment»** включает в себя нерасправляющееся легкое, обусловленное активным воспалительным или опухолевым процессом в плевре, и представляет собой фибринозное воспаление плеврой и часто предшествует собственно «панцирному легкому» (в зарубежной литературе используется термин Trapped Lung). Нерасправляемость легкого в таком состоянии вторична по отношению к воспалительному процессу и может быть выявлена зачастую лишь при удалении воздуха или жидкости из плевральной полости [3]. С течением времени и отсутствием возможности создания условий для расправления легкого оно сохраняет измененную форму, то есть становится ригидным. Это происходит за счет активации не только соединительно-тканного компонента в строении легкого ввиду хронической гипоксии и воспаления, но и развития собственно фиброза в висцеральной плевре [4]. К этому приводит длительно персистирующие в плевральной полости воздух и жидкость, а также присоединение инфекционного процесса. При их удалении при помощи аспирации при отсутствии легочной фистулы в плевральной полости сохраняется отрицательное давление без расправления легкого с показателями давления ниже, чем в норме. Это будет способствовать возрастанию градиента давления между таковыми внутри трахеобронхиального дерева и плевральной полостью, что приведет впоследствии к баротравме – повреждению давлением.

«Панцирное легкое» представляет собой измененный орган, который даже при удалении содержимого плевральной полости не может расправиться, то есть полностью занять весь гемиторакс ввиду фиброзных изменений висцеральной плеврой, формирования грубых плевральных сращений между париетальной и висцеральной плеврой вследствие хронического воспалительного процесса в легком и плевре и бессимптомного плеврального выпота [5]. Удаление экссудата и воздуха из плевральной полости посредством пункций или при помощи установки дренажной трубки не позволит улучшить дыхательную функцию легкого.

При наличии (бронхоплевральной или альвеолярноплевральной) фистулы легкое также не расправляется, но за счет того что в плевральной полости постоянно персистирует атмосферный воздух и сохраняется атмосферное давление, а при некоторых видах

искусственной вентиляции и более высокое. Данное осложнение значительно ухудшает прогноз, летальность у такой категории пациентов составляет до 9,5%. Без дренажа плевральной полости достоверно диагностировать данное состояние нельзя [6]. Дренажная система, по сути, под воздействием отрицательного давления высасывает воздух из самой фистулы, то есть фактически из атмосферного воздуха, что также является фактором дополнительного инфицирования за счет попадания микроорганизмов из атмосферного воздуха в дыхательные пути. Клинически это проявляется активным сбросом воздуха по дренажной трубке на выдохе или при вакуумной аспирации. Вторично может развиваться фиброз висцеральной плевры, что даже при устранении фистулы не будет давать легкому расправиться на всю плевральную полость.

Важно также оттенить особый термин, характеризующий нерасправляемое легкое, **pneumothorax ex vacuo** - персистирующий пневмоторакс без фистулы и травмы полых органов грудной полости. Не только пневмоторакс может вызвать ателектаз, но также и сам ателектаз может стать условием для развития пневмоторакса при удалении экссудата. Такой пневмоторакс возникает на фоне резкого увеличения отрицательного давления в плевральной полости в сочетании с обструкцией бронхов 1-2 порядка и ниже и не связан с повреждением легкого или висцеральной плевры. При этом в плевральной полости как такового атмосферного воздуха может и не быть, или он персистирует в небольшом количестве. Это состояние может возникать как на спонтанном дыхании, так и у пациентов с ИВЛ, что связано с обструкцией дыхательных путей одной из долей легкого. Такой «пневмоторакс» на фоне основного заболевания может не иметь собственных клинических признаков и не ассоциироваться с ухудшением состояния, а рентгенологически представлен разобщением листков плевры на ограниченном пространстве в проекции верхней или нижней долей (рис. 1). Важнейшим в лечении данного осложнения у пациентов является не установка плеврального дренажа, а устранение вероятной причины обструкции, после которого пневмоторакс разрешается, как правило, самостоятельно [7]. Если же данных за обструкцию бронхиального дерева нет и отсутствует легочная фистула, то причиной такому состоянию будет «панцирное легкое».



Рис. 1. Pneumothorax ex vacuo у пациента с нерасправляемым легким на обзорной рентгенограмме органов грудной клетки

Таким образом, можно сказать, что при нерасправляемом легком при торакоцентезе и установке плеврального дренажа вероятность осложнений значительно увеличивается, поэтому так важно ориентироваться не только на показатели радиологической и ультразвуковой диагностики, но и наблюдать за барическими процессами в плевральной полости, не видимыми на рентгеновской плёнке и при осмотре пациента. При этом некоторыми авторами отмечается, что торакоцентез при нерасправляемом легком значительно болезненнее из-за раздражения плевры отрицательным давлением (менее -20 мм вод. ст.) [8]. Помимо дренирования плевральной полости при нерасправляемом легком, невозможным становится также и химический плевродез ввиду стойкого расхождения листков париетальной и висцеральной плевры.

Важными параметрами, характеризующими описанные процессы в плевральной полости, являются также внутриплевральное давление (**Ppl**), эластичность плевральной полости (**Epl**) [9]. В норме на пике вдоха **Ppl** составляет до -80 см вод. ст., а конце выдоха: -20 см вод. ст. Падение усредненного показателя давления плевральной полости ниже -40 см вод. ст. при удалении патологического содержимого из плевральной полости (пункции плевральной полости) без применения дополнительного разрежения является признаком нерасправляемости легкого. Эластичность плевры подразумевает под собой отношение разности изменения давления до и после удаления определенного объема патологического содержимого ($P_{liq1} - P_{liq2}$) по отношению к этому самому объему, что можно представить формулой: $Epl = \frac{P_{liq1} - P_{liq2}}{V_{liq}}$ см вод. ст./л. При нормальном расправлении легкого и наличии

в плевральной полости экссудата любой плотности эластичность плевральной полости будет составлять около 5,0 см вод. ст./л, величина показателя больше 14,5 см вод. ст./л говорит о нерасправляемости легкого и формировании «панцирного легкого». Из вышесказанного следует, что количественное измерение давления в плевральной полости является важным диагностическим и прогностическим тестом.

Какими способами можно измерить внутриплевральное давление?

Существуют прямые и непрямые методы измерения этого важного параметра респираторной механики. Прямым является измерение давления непосредственно при торакоцентезе или длительном дренировании плевральной полости через катетер или дренаж, находящийся в ней. Обязательным условием является установка катетера или дренажа в самой низкой позиции имеющегося содержимого плевральной полости. Самым простым вариантом в таком случае является использование водяного столба, для чего может использоваться трубка от внутривенной системы или стерильный столбик из стеклянной трубки, обязательно перед процедурой предварительно из системы выводится воздух. Давление при наличии жидкого содержимого в таком случае определяется за счет высоты столба в трубке относительно места вкола иглы или установленного дренажа, что примерно соответствует общеизвестной методике измерения центрального венозного давления при помощи аппарата Вальдмана [10]. Недостатком данного метода является громоздкость и сложность создания устойчивой конструкции для проведения таких измерений, а также невозможность измерить давление в «сухой» полости.

Также используются и цифровые приборы для определения и регистрации внутриплеврального давления.

Портативный цифровой манометр Compass (Mirador Biomedical, США) используется для измерения давления в полостях организма. Положительной стороной этого портативного манометра является его точность (доказана высокая корреляция с данными при измерении при помощи измерения давления по U-катетеру) и простота в использовании [8]. Недостатками его являются возможность его использования лишь один раз и невозможность записи данных на цифровой носитель, а также стоит отметить высокую стоимость такого манометра (около 40 \$ за одно устройство).

Электронный плевральный манометр обычно состоит из катетера плевральной полости, разветвителя или разобщителя, одна магистраль которого идёт к системе удаления экссудата, другая к датчику давления и аналого-цифровому преобразователю, который в свою очередь позволяет выводить изображение на экран или производить запись на цифровой носитель (рис. 2) [2]. В исследованиях J.T.Huggins et al. используются наборы для инвазивного мониторинга артериального давления (фирма Argon, США), аналого-цифровой

преобразователь CD19A (фирма Validyne Engineering, США), для регистрации данных на персональном компьютере используется пакет программ Biobench 1.0 (фирма National Instruments, США). Разобщителем может, к примеру, являться устройство, описанное Roe [11]. Преимущество этой системы перед ранее названным портативным датчиком, несомненно, состоит в возможности записи данных на цифровой носитель, а также точности получаемых данных и многократном использовании. Недостатком данного метода является сложность организации рабочего места для проведения манометрии. Помимо самого оператора, который производит манипуляцию, необходим дополнительный персонал для включения и записи данных. Также разобщитель магистралей в данном комплексе должен соответствовать требованиям асептики и антисептики и, в идеале, быть одноразовым [8].

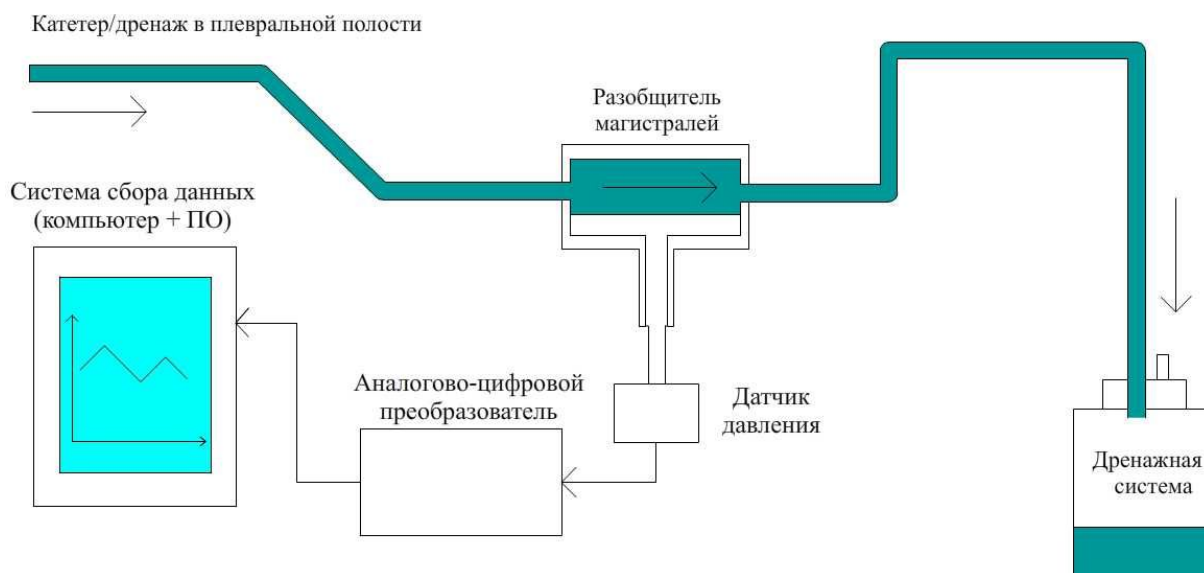


Рис. 2. Схема электронного манометра для измерения внутриплеврального давления [5]

Недостатками такого метода являются выраженная зависимость получаемых данных от чувствительности датчика, состояния переходника-трубки (возможная окклюзия её твердым содержимым, попадание воздуха), особенностей мембраны датчика.

Определение давления такими методами происходит опосредованно через трубку-дренаж, так как сам датчик в плевральной полости не находится. Определение показателей давления как на проксимальном конце дренажа, так и в самой магистрали может иметь высокую диагностическую ценность. В патенте J. Croteau описывается аспирационный аппарат для дренирования плевральной полости с двумя заранее настраиваемыми уровнями разрежения. Первый режим – терапевтический, зависит от клинической ситуации. Второй режим, с более высоким уровнем разрежения, включается при изменении давления между дистальным и проксимальным участком дренажной трубки, в которой соответственно

установлены два датчика давления, например, более чем на 20 мм вод. ст. (данный параметр является настраиваемым). Это способствует устранению обструкции дренажа и сохранению его работоспособности. Также в описанном аспираторе предусмотрен подсчёт частоты дыхательных движений и подача сигнала (в т.ч. звукового) при ее изменениях. Таким образом, принцип выбора разрежения основан на измерении давления в дренаже. Недостатком является отсутствие ассоциации переключения уровней разрежения с физиологическими колебаниями давления в плевральной полости. Изменение давления при этом способе служит для устранения обструкции дренажной трубки [12]. Такой мониторинг может предсказать закупоривание и дислокацию дренажа, что важно для профилактики осложнений и принятия быстрого решения о дальнейшей лечебной тактике.

Непрямым методом является чреспешиеводная манометрия в грудном отделе пищевода на точке 40 см от резцов или ноздри у взрослого человека. Определение внутрипищеводного давления (Pes) ограничено используется для определения оптимального положительного давления в конце выдоха (PEEP – positive expiration end pressure) у пациентов с искусственной вентиляцией легких и дыхательного объема вентиляции при невозможности измерить внутриплевральное давление прямым методом. Внутрипищеводное давление представляет собой усредненное значение давления в плевральных полостях без вовлечения плевры в патологический процесс и позволяет рассчитать транспульмональный градиент давления ($P_l = P_{alv} - P_{pl}$, где P_{alv} – давление в альвеолах), но не даёт информативности об определении P_{pl} в определенной полости, тем более при нерасправляемом легком [13]. Недостатками данного метода являются неспецифичность измерения по отношению к пораженной стороне, а также недостоверность данных при наличии патологического процесса в средостении любого рода и зависимость от положения тела пациента (в горизонтальном положении давление выше). Могут отмечаться значительные погрешности при высоком внутрибрюшном давлении, ожирении.

У новорожденных описана возможность измерения внутриплеврального давления непрямым методом за счет определения движения костей свода черепа относительно друг друга и давления в дыхательных путях [14]. Данный метод автор предлагает для дифференциальной диагностики апноэ новорождённых центрального генеза и обструктивного характера. Основным недостатком данного метода является отсутствие возможности мониторинга ввиду того что для измерения давления необходимо сделать манёвр Вальсальвы, а именно перекрыть канюлей ноздри (новорождённые, как известно, дышат только через ноздри) при выдохе через закрытые канюлей с датчиком давления ноздри. Также данный метод не позволяет количественно определить внутриплевральное

давление, а лишь используется для определения изменения давления при вдохе и выдохе для диагностики обструкции дыхательных путей.

Методы плевральной манометрии, которые чаще используются на практике, связаны с созданием сообщения плевральной полости с окружающей средой посредством пункционной иглы, катетера или уже имеющегося дренажа плевральной полости. Определяющим в получении достоверных данных при измерении давления является создание условий для манометрии. Так, при лечебно-диагностической пункции плевральной полости без использования активной аспирации показатель давления будет меняться по мере удаления жидкости под действием гравитации. При этом можно вычислить эластичность плевральной полости и диагностировать «нерасправляемое легкое» (рис. 3). При использовании активной аспирации по дренажу или катетеру мониторингирование внутриплеврального давления не будет иметь диагностической ценности, так как на показатель давления в магистрали будут влиять внешние силы, помимо гравитации. Измерение давления в течение небольшого промежутка времени без удаления содержимого с целью оценки состояния плевральной полости также приемлемо, однако несёт меньшую информативность ввиду невозможности вычисления эластичности плевры.

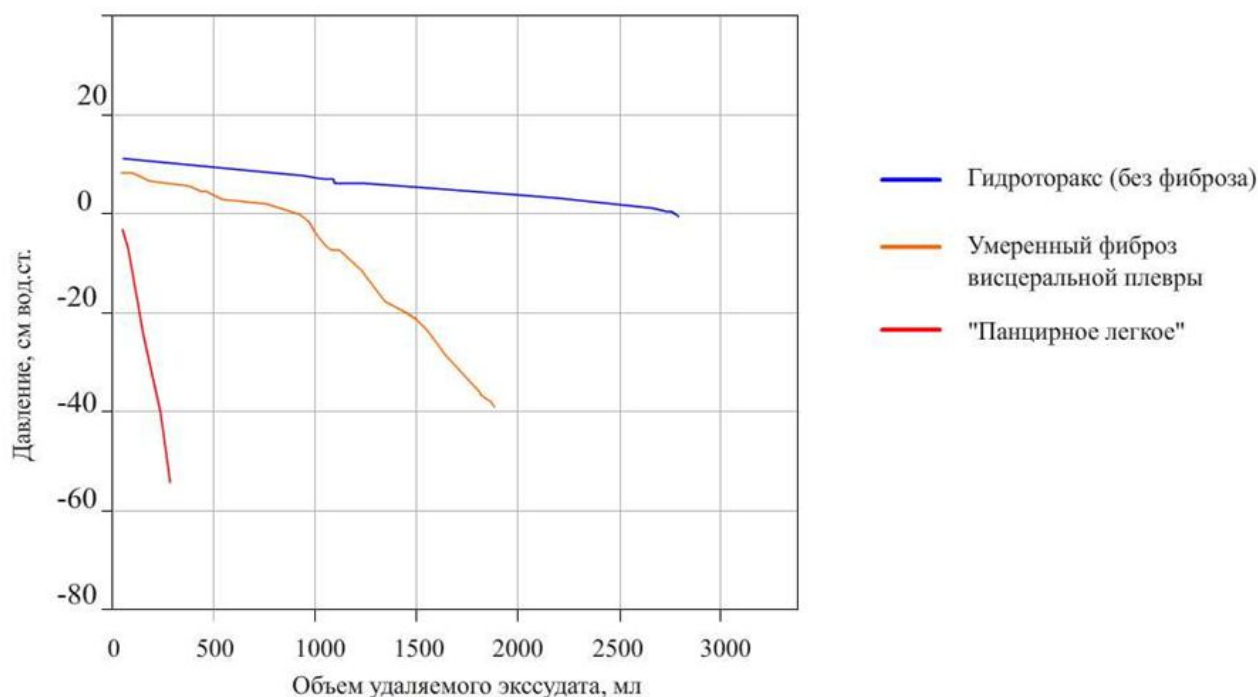


Рис. 3. График измерения внутриплеврального давления при терапевтическом торакоцентезе (удалении экссудата)

Всё-таки стоит отметить, что в настоящее время даже в ведущих медицинских центрах мира рутинное использование плевральной манометрии не получило широкого

распространения. Причиной этому являются необходимость развертывания дополнительного оборудования при проведении плевральной пункции (подключение и проверка работоспособности манометра, соединение его с иглой или катетером, который вводится в плевральную полость) и затрачиваемое на это время, потребность в дополнительном обучении медицинского персонала для работы с манометром [15]. F. Maldonado исходя из анализа исследований по измерению внутриплеврального давления при нерасправляемом легком утверждает, что на настоящий момент нельзя лишь на основании данных о внутриплевральном давлении считать легкое нерасправляемым и выставлять показания к прекращению или продолжению удаления патологического отделяемого из плевральной полости. По его мнению, стоит обратить внимание не только на эластичность плевры, но и на то, где появляется «точка воздействия» на кривой внутриплеврального давления (график), после которой легкое становится нерасправляемым и процедуру торакоцентеза стоит прекращать. Однако на данный момент исследований, где такая «точка воздействия» рассматривалась как предиктор, нет.

Так как изменения показаний респираторной механики плевральной полости являются предиктором множества осложнений и исходов, то их мониторинг не только позволит избежать многих осложнений, но также и выбрать действительно подходящий способ лечения для пациентов с таким патологическим состоянием. Таким образом, важнейшим в ведении пациентов с такими патологическими состояниями, как нерасправляемое легкое и длительный сброс воздуха, является определение внутриплеврального давления и его эластичности для подбора адекватного режима аспирации и других особенностей дренирования плевральной полости как до радикального оперативного лечения, так и при невозможности проведения такового. Мониторинг давления и других параметров должен осуществляться постоянно при нахождении дренажной трубки в плевральной полости, а также при проведении терапевтического и диагностического торакоцентеза. С этим согласны такие авторы, посвятившие не одно крупное клиническое исследование по изучению внутриплеврального давления, как J.T. Huggins, M.F. Pereuga и др. Но, к сожалению, простых и доступных средств для проведения таких исследований мало, что подтверждает необходимость изучения вопросов внутриплеврального давления для повышения диагностической ценности, таких как колебания давления на разных фазах дыхания в физиологии и при патологических состояниях, связи функциональных проб в диагностике заболеваний органов дыхания с респираторной механикой плевральной полости.

Список литературы

1. Physiology of breathlessness associated with pleural effusions / T. Rajesh [et al.] // *Pulmonary Medicine*. - 2015. - Vol. 21, № 4. - P. 338-345.
2. Huggins J.T. Pleural manometry / J.T. Huggins, P. Doelken // *Clinics in Chest Medicine*. - 2006. - Vol. 27, Issue 2. - P. 229-240.
3. Characteristics of Trapped Lung. Pleural Fluid Analysis, Manometry, and Air-Contrast Chest CT / J.T. Huggins [et al.] // *Chest*. – 2007. – Vol. 131, Issue 1. – P. 206-213.
4. Pereyra M.F. Unexpandable Lung / M.F. Pereyra, L. Ferreiro, L. Valdes // *Arch. Bronconeumol*. - 2013. - Vol. 49, № 2. – P. 63-69.
5. Pleural manometry: technique and clinical implications / J.T. Huggins [et al.] // *Chest*. - 2004. - Vol. 126, № 6. - P. 1764–1769.
6. Diagnosis and management bronchopleural fistula / P. Sarkar [et al.] // *The Indian Journal of Chest Diseases & Allied Sciences*. – 2010. – Vol. 52, № 2. – P. 97-104.
7. Staes W. "Ex Vacuo" pneumothorax / W. Staes, B. Funaki // *Seminars in interventional Radiology*. – 2009. – Vol. 26, № 1. – P. 82-85.
8. Comparison of pleural pressure measuring instruments / H.J. Lee [et al.] // *Chest*. - 2014. - Vol. 146, № 4. - P. 1007-1012.
9. Elastance of the pleural space: a predictor for the outcome of pleurodesis in patients with malignant pleural effusion / R.S. Lan [et al.] // *Ann. Intern. Med*. – 1997. – Vol. 126, № 10. – P. 768-774.
10. Интенсивная терапия: руководство для врачей / В.Д. Малышев, С.В. Свиридов, И.В. Веденина и др.; под ред. В.Д. Малышева, С.В. Свиридова. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: ООО «Медицинское информационное агентство», 2009. - 712 с.
11. A Pleural Manometry Catheter: pat. US 2016/0263296A1 USA : PCT/GB2014/052871 / Roe E.R. [et al.]; applicant and patentee Rocket Medical Plc. – US 15/028, 691; stated 22.09.2014; published 15.09.2016.
12. Chest drainage systems and methods US: pat. 8992493 B2 USA: US 13/634,116 / James Croteau [et al.]; applicant and patentee Atrium Medical Corporation. – PCT/US2011/022985; stated 28.01.2011; published 31.03.2015.
13. Fessler H.E. Are esophageal pressure measurements important in clinical decision-making? / H.E. Fessler, D.S. Talmor // *Respiratory Care*. – 2010. – Vol. 55, № 2. – P. 162–174.
14. Noninvasive method for measuring and monitoring intrapleural pressure in newborns: pat. US 4860766 A USA: A 61 B, 5/00 / Sackner M.A.; applicant and patentee Resptrace Corp. – US 07/008, 062; stated 27.04.1987; published 29.08.1989.

15. Maldonado F. Counterpoint: should pleural manometry be performed routinely during thoracentesis? No. / F. Maldonado, J. Mullon // Chest. - 2012. - Vol. 141, № 4. - P. 846–848.