

Безопасность метода высокочастотной осцилляции грудной клетки (HFCWO) для госпитализированных пациентов интенсивной терапии

Представлено:

Скотт Брирли, RRT, Департамент респираторного лечения, Кардиологической больницы Аризоны, Финикс, Аризона; Кристин Адамс, бакалавр, RRT, Департамент респираторного лечения, Кардиологической больницы Аризоны, Финикс, Аризона; Джанет Сьюлтер, CRT, Департамент респираторного лечения и лечения расстройств сна, Региональный центр здоровья Салины, Салина, Канзас; Трой Гуч, магистр, RRT, Департамент респираторного лечения и лечения расстройств сна, Региональный центр здоровья Салины, Салина, Канзас; Брайан Бекер, магистр, RRT, Hill-Rom, Inc., Сент-Пол, Миннесота; Джейн Брайверман, кандидат наук, Hill-Rom, Inc., Сент-Пол, Миннесота; Гордон Д. МакФарлэйн, кандидат наук, Hill-Rom, Inc., Сент-Пол, Миннесота.

Краткое описание

У пациентов, которые перенесли хирургическую операцию или были госпитализированы с острыми заболеваниями, часто возникают пульмональные осложнения. Чтобы справиться с ними, обычно назначают лечение, стимулирующее очищение дыхательных путей. Но при наличии хирургических ран применение оборудования для инвазивной или чувствительной терапии/мониторинга может быть небезопасным и вызвать непереносимость. Высокочастотная осцилляция грудной клетки (HFCWO) – это одна из форм очистки дыхательных путей, которую можно применять для многих пациентов (в том числе для пациентов интенсивной терапии и с искусственной вентиляцией легких). Однако данных относительно безопасности и переносимости этой процедуры этой категорией больных недостаточно. 74 пациента интенсивной терапии и/или после операции с использованием инвазивных или чувствительных терапевтических или контрольных устройств проходили лечение высокочастотной осцилляцией грудной клетки в течение 72 часов после операции или после поступления. Как правило, назначалась 15-минутная терапия 2-3 раза в сутки. Лечащий врач ежедневно документировал состояние инвазивного или чувствительного оборудования и оценивал переносимость (используя шкалу Ликерта с оценками переносимости: (1 = плохая переносимость, 5 = хорошая переносимость)). В итоге терапия высокочастотной осцилляцией грудной клетки оценивалась на протяжении 181 дня. Большая часть пациентов (76 %) хорошо ее переносила и имела высокие показатели переносимости для всех оцениваемых методов лечения. Показатели субъективной устойчивости для всех дней терапии были такими: 5 [4, 5] (Медиана: интерквартильный диапазон). Таким образом, высокочастотная осцилляция грудной клетки является, по-видимому, безопасным, хорошо переносимым способом очистки дыхательных путей, являющимся хорошей альтернативой для многих пациентов интенсивной терапии и тех, которые перенесли хирургическую операцию.

Введение

Пульмональные осложнения, связанные с послеоперационным состоянием или серьезной острой болезнью или травмой, могут представлять значительный риск для достижения успешных результатов, способствуют увеличению заболеваемости и смертности.^{1,2} Такие осложнения, главным образом больничные пневмонии, являются основным фактором увеличения расходов на здравоохранение, особенно на отделения интенсивной терапии.^{2,6} Затрудненное удаление секрета из дыхательных путей из-за временного ухудшения мукоцилиарного клиренса и функции откашливания способствует развитию ателектаза, бронхолегочного воспаления и инфекции, пневмонии, остановке дыхания, а иногда и смерти.^{2,7,8} Незамедлительная эффективная терапия для очистки дыхательных путей у пациентов с повышенным риском может ослабить возникновение пульмональных осложнений.^{7,9-11}

Выход выделений может быть простимулирован различными методиками и устройствами для улучшения откашливания и очистки дыхательных путей, но есть несколько факторов, связанных с типом больных и процедур, которые ограничивают назначение интенсивной терапии. Но для методик, использующих устройства форсированного выдоха или положительного давления в конце выдоха, у многих пациентов нет энергии, жизненной емкости легких, или достаточной силы дыхательных мышц. Для таких пациентов варианты ограничены методикой мануальной физиотерапией грудной клетки (CPT): это перкуссия и постуральный дренаж или высокочастотная осцилляция грудной клетки (HFCWO).

На протяжении многих десятилетий мануальная физиотерапия грудной клетки была стандартной процедурой для госпитализированных пациентов, призванной обеспечить отход секрета из дыхательных путей, довести до максимума насыщение кислородом, и расширить ателектатические сегменты легких.^{1,7,12-14} Физиотерапия грудной клетки представляет собой методику очистки дыхательных путей, которая объединяет мануальную и механическую перкуссию грудной клетки ухаживающим за больным лицом, которое размещает больного в правильном дренажа мокроты положении и координирует методики откашливания и очистки дыхания.^{15,16} Обычно лечение состоит из мануальной перкуссии в течение 3-5 минут на каждой из девяти-двенадцати определенных областей грудной клетки, с одновременным размещением тела в надлежащем для дренажа положении, включая положение Тренделенбурга. Хотя эти методы и доказали свою эффективность, мануальная физиотерапия грудной клетки и другие методики и/или терапия, предполагающая силовое воздействие при очистке

дыхательных путей, при одновременном прохождении интенсивной терапии могут оказаться непрактичными, рискованными и плохо переносимыми.¹⁵⁻¹⁷ Но для многих пациентов с физическими ограничениями и патофизиологическими отклонениями, которые увеличивают риск сердечных аритмий, гастроэзофагального рефлюкса и аспирации, эти особенности могут привести к отказу от использования мануальной физиотерапии.¹⁸⁻²⁰ К тому же курс мануальной физиотерапии требует немалых затрат времени и потребности в ней могут превышать возможности персонала.²¹

Высокочастотную осцилляцию грудной клетки, которая является альтернативной формой очистки дыхательных путей, в течение более десяти лет использовали при лечении десятков тысяч пациентов с различными хроническими состояниями, включая фиброзно-кистозную дегенерацию, бронхоэктаз и нервно-двигательные/нервно-мышечные расстройства. Высокочастотная осцилляция грудной клетки создает периодическое напряжение, подобное кашлевому рефлексу, которое ослабляет слизь, прилипшую к бронхиальным дыхательным путям.²²⁻²⁴ Были продемонстрированы улучшенные скорости очистки трахей от слизи вместе с повышенной очисткой от слизи как вспомогательных, так и крупных дыхательных путей.^{24,25} Было продемонстрировано, что вибрирующий поток воздуха изменял свои физические свойства, снижая образование железых поперечных связей, и создавал периодическое напряжение, которое облегчало движение слизи.²⁶⁻²⁹ Высокочастотную осцилляцию грудной клетки все чаще прописывают в больницах для лечения больных отделения неотложной помощи, пациентов, перенесших хирургические операции, и тех, которые находятся на аппаратах искусственной вентиляции легких. Такая терапия является практической альтернативой мануальной физиотерапии грудной клетки. Высокочастотная осцилляция грудной клетки не зависит от методики или усилий и не требует никакого специального положения тела, таким образом устраняя многие недостатки мануальной физиотерапии грудной клетки.³⁰⁻³²

В ряде исследований изучался метод высокочастотной осцилляции грудной клетки у госпитализированных пациентов с фиброзно-кистозной дегенерацией, и оказалось, что этот вид терапии такой же эффективный, как и мануальная физиотерапия грудной клетки.^{30,33-35} Клафт и другие выяснили, что высокочастотная осцилляция грудной клетки примерно в 3 раза эффективнее, чем мануальная физиотерапия, продемонстрировав результаты сравнения количества мокроты во влажном и сухом состоянии (по мокрому и сухому весу), собираемой во время и после обеих процедур.³⁰ Данные по пациентам, перенесшим операцию, и другим пациентам с острыми заболеваниями более ограничены. Однако по предварительным оценкам подобная терапия помогает и этим пациентам. Так, во время проведения исследования по изучению использования высокочастотной осцилляции грудной клетки в качестве дополнения к обычному послеоперационному лечению 25 пациентов, подвергшихся плановой торакальной хирургической операции, они не было выявлено никаких серьезных отрицательных эффектов во время или после процедуры. Пациенты изучались на этапе раннего послеоперационного периода, во время эпидуральной анальгезии. Гемодинамические и оксиметрические показатели, собранные в период перед проведением терапии и после, оставались стабильными на протяжении всего периода лечения; большинство субъектов (84%) не испытывали никакого дискомфорта или испытывали лишь небольшой дискомфорт.³⁶

Применение инвазивных процедур и разного рода устройств для диагностики, контроля и лечения - рядовая практика при лечении пациентов отделения интенсивной терапии, травмированных и прооперированных пациентов. В некоторых случаях по разным причинам такое вмешательство может вызвать риск осложнений.³⁷ Хотя работники системы здравоохранения знают не только о рисках, но и о методиках уменьшения негативных последствий от использования центральных венозных катетеров, катетеров Свана-Ганца, внутриартериальных катетеров, эндотрахеальной интубации, желудочных зондов и имплантированных кардиостимуляторов, неприятные инциденты продолжают происходить.³⁸⁻⁴⁰

Терапию очистки дыхательных путей назначают прооперированным, травмированным пациентам, и пациентам с острыми клиническими заболеваниями и тогда, когда риск развития пульмональных осложнений перевешивает потенциальный риск такой терапии. Возникновение таких рисков может быть вызвано сенситивным или инвазивным вмешательством с применением оборудования для мониторинга. В качестве терапии по очистке дыхательных путей для госпитализированных пациентов высокочастотную осцилляцию грудной клетки стали использовать только недавно. А потому необходимо продолжать наблюдение за этим новым видом воздействия, чтобы иметь возможность проконтролировать улучшение качества интенсивной терапии. Тщательное наблюдение необходимо не только для того, чтобы распознать отрицательные явления, оно призвано еще и определить и устранить потенциальные вредные и рискованные факторы. Также необходимо приложить усилия для составления протоколов и инструкций для того, чтобы оптимизировать уход за пациентами отделения интенсивной терапии.

Данное исследование подтверждает имеющуюся информацию о безопасности и хорошей переносимости высокочастотной осцилляции грудной клетки у прооперированных пациентов и пациентов интенсивной терапии. К тому же оно представляет данные наблюдений во время процедуры высокочастотной осцилляции грудной клетки посредством сенситивного или инвазивного вмешательства с использованием терапевтического или контрольного оборудования.

Методы

Это нерандомизированное запланированное экспериментальное наблюдение проводилось в двух учреждениях, использующих лечение высокочастотной осцилляцией грудной клетки для послеоперационных пациентов и пациентов интенсивной терапии с риском возникновения пульмональных осложнений. Целью этого изучения была оценка переносимости подобного лечения пациентами, у которых имелись торакальные и абдоминальные хирургические разрезы, и /или лечение которых требовало задействования инвазивного или неинвазивного оборудования. Изучение проводилось методом сбора данных наблюдений за пациентами, которым было назначено лечение методом высокочастотной осцилляции грудной клетки в качестве дополнения к их обычному лечению. Пациентов не подвергали высокочастотной осцилляции грудной клетки

специально для этого исследования.

74 субъектам в возрасте от 43 до 85 лет, которые подверглись кардиальной, торакальной, абдоминальной и другим операциям, была назначена высокочастотная осцилляция грудной клетки (Таблица 1). Данные собирали при наличии таких критериев, как назначение процедуры врачом, отсутствие абсолютных противопоказаний, а также одного или нескольких из следующих факторов: 1) у пациента есть срежий торакальный или абдоминальный разрез, 2) вставлена эндотрахеальная или трахеостомическая трубка, 3) проводится постоянная механическая вентиляция легких, 4) непрерывное проведение СРАР или двухуровневой терапии, 5) проводится внешняя кардиостимуляция, 6) вставлен катетер Свана-Ганца, 7) вставлена(ы) плевральная(ые) дренажная(ые) трубка(и) или проводится дренаж Пенроуза, 8) имплантирован кардиостимулятор или внутренний кардиодефибрилятор, 9) имплантирован порт доступа, 10) проводится мониторинг внутричерепного давления.

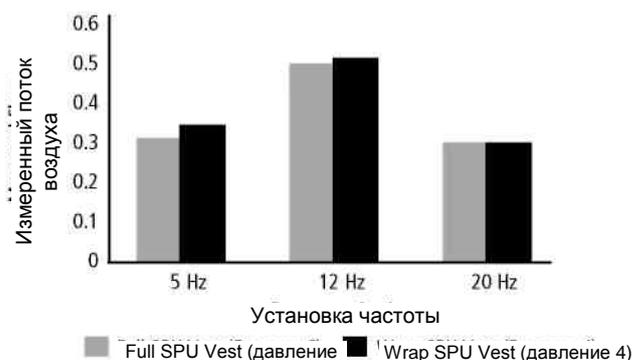
Таблица 1: Демографические данные пациентов

Возраст (средний ± стандартное отклонение)	69.8 ± 10,5 лет
Пол	
Мужчины	48 (65%)
Женщины	26 (35%)
Тип хирургической операции	
Кардиальная операция	55 (74%)
Абдоминальная хирургическая операция	13 (18%)
Торакальная операция	3 (4%)
Другие операции	1 (1%)
Нехирургические пациенты	2 (3%)

Высокочастотную осцилляцию грудной клетки проводили с использованием системы очистки дыхательных путей «Vest»™ (Hill-Rom, Inc., Сент-Пол, Миннесота). Это устройство состоит из надуваемой манжеты (жилета), подключаемой трубками к импульсному воздухогенератору. Генератор быстро надувает и сдувает манжету (жилет), сжимая и отпуская грудную клетку, создавая поток воздуха в легких. Высокочастотная осцилляция грудной клетки назначалась на основании документов, в которых было запротоколирована эффективность этой процедуры для пациентов, находящихся на домашнем лечении, но в начале лечения использовались минимальные настройки давления с постепенным его повышением, в зависимости от переносимости процедуры. Стандартный курс заключался в 15-минутной терапии высокочастотной осцилляцией грудной клетки 2-3 раза в день. Использовались два комплекта жилетов для одного пациента, производящихся серийно: “Full Single Patient Use Vest” (Full SPU Vest) - (Широкий одноразовый жилет) и “Wrap Single Patient Use Vest” (Wrap SPU Vest) (Одноразовый жилет-манжета). Full SPU Vest похож на модель, применяющуюся для домашнего использования; Wrap SPU Vest - это модель, разработанная для облегчения использования его неподвижными или очень ослабленными пациентами. Оба варианта утилизируются, чтобы не допустить риска заражения в результате множественных контактов. Лечащим врачам была предоставлена инструкция для использования жилета каждой конструкции. Инструкция для рекомендуемого использования жилета Full SPU Vest предписывала установку частоты в пределах от 10 до 15 Гц, минимальное давление в начале курса и постепенное его повышение до отметки 5 или 6 при хорошей переносимости пациентом. Инструкция использования жилета Wrap SPU Vest предписывала установку такой же частоты, но предусматривала повышение давления только до отметки 4. Эти два жилета продемонстрировали сопоставимые результаты использования пульсирующего потока воздуха у взрослых субъектов в рамках применения рекомендуемой инструкции для каждого типа жилета (Рисунок 1).

Данные собирались по каждому пациенту ежедневно в течение максимум пяти дней, или до тех пор, пока лечение не было прекращено или пациента не выписывали из больницы. При ежедневных обследованиях документировалось состояние больного, тип используемого жилета, ежедневный контроль респираторного состояния, в том числе с использованием систем поддержания положительного давления, наличие искусственной вентиляции легких и т.д., и наличие вспомогательного терапевтического и контрольного оборудования. Субъективная оценка переносимости проводилась врачом при помощи шкалы Ликерта (Уровни переносимости: (1 = плохая переносимость, 5 = хорошая переносимость).

Рисунок 1: Сравнение типов жилетных устройств



Результаты

74 пациента интенсивной терапии наблюдались на предмет безопасности и переносимости метода высокочастотной осцилляции грудной клетки с использованием системы очистки дыхательных путей «Vest»™ в условиях интенсивной терапии. Были задействованы пациенты из отделений медицинской и хирургической интенсивной терапии, а также из других отделений. Основная часть субъектов были пациентами, перенесшими хирургическую операцию (Таблица 1). Для этих пациентов также применялось большое количество хирургического и контрольного оборудования (Таблица 2).

Таблица 2: Лечебные мероприятия

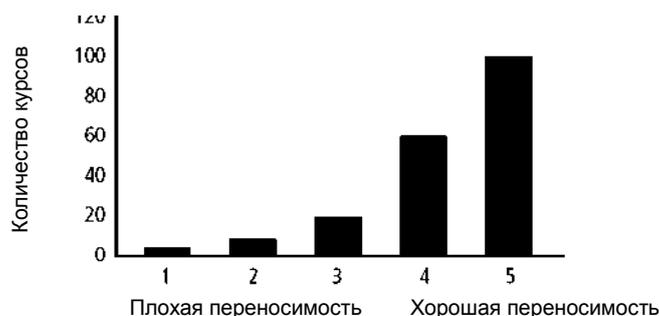
Мероприятие	Количество пациентов*
Стерильный разрез/ Стерильная трубка	50
Трубка внешнего кардиостимулятора	34
Катетер Свана-Ганца	29
Плевральные дренажные трубки	26
Дренаж Пенроуза	14
Центральный венозный катетер	20
Вживленный кардиостимулятор	2
Двухуровневая вентиляция	5
Механическая вентиляция	1

*Общее количество мероприятий больше 74 - из-за проведения нескольких мероприятий для некоторых пациентов

Лечение высокочастотной осцилляцией грудной клетки начинали в период 24 часов после хирургической операции у 50% (n=36) прооперированных субъектов. Всего был оценен 181 день терапии.

Такая терапия хорошо переносилась большинством пациентов. Для 76 % больных отметка переносимости была в диапазоне от 4 до 5 для всех оцениваемых способов лечения (1 = плохая переносимость, 5 = хорошая переносимость). Степень субъективной переносимости для всех дней лечения (всего 181 день) была 5 [4, 5] (Медиана: интерквартильный диапазон) (Рисунок 2). Ни о каких серьезных негативных эффектах, связанных с терапией, не сообщалось. Средняя длительность лечения и сбора данных составляла 2,4 дня. Основная часть пациентов продолжали терапию до тех пор, пока не стали заметны улучшения или пока не была достигнута цель лечения (n=35), пока они не прошли пятидневное лечение (n=6), или пока пациента выписали из отделения/ больницы (n=7).

Рисунок 2: Переносимость высокочастотной осцилляции грудной клетки (Оценен 181 курс лечения)



Двенадцать пациентов были сняты с исследования из-за того, что не смогли переносить эту терапию из-за послеоперационных или других болей (n=4), тошноты (n=2), боли и тошноты (n=2), затруднения дыхания (n=1), боли, связанной с гематомой (n=1), появления тахикардии во время лечения (n=1) и по не указанной причине (n=1). Позднее еще пять субъектов были сняты с программы исследований из-за осложнений, которые считаются не относящимися к терапии высокочастотной осцилляции грудной клетки. Четырем пациента, перенесшим хирургическую операцию, требовалась реинтубация, и они были исключены из программы исследований в соответствии со стандартной практикой учреждения, и один пациент не возобновил терапию после дополнительной абдоминальной хирургической операции. Другие причины для отказа от терапии: плохо надуваемый

жилетный комплект (n=1), (позднее его починили, но пациент не вернулся для исследований), причина не указана (n = 6). Степень переносимости для последних шести субъектов была высокой (4 – 5) по всем оцениваемым типам лечения.

Обсуждение

Клинический курс для пациентов, перенесших хирургическую операцию, и пациентов интенсивной терапии значительно отличается и не может быть с легкостью спрогнозирован. Многочисленные патофизиологические механизмы могут спровоцировать развитие пульмональных осложнений у этих пациентов. Принимая во внимание изменение внешних факторов оказания медицинской помощи и возрастание количества экономических проблем, мероприятия по очистке дыхательных путей должны проводиться на основании научных и клинических обоснований, с учетом потребностей пациентов, при надлежащем использовании оборудования для достижения качественных результатов у пациентов.⁴¹ Для пациентов с подтвержденным риском серьезных пульмональных осложнений может быть назначено профилактическое или терапевтическое лечение по очистке дыхательных путей. Однако терапевтические мероприятия, призванные снизить частоту и серьезность таких осложнений, часто тоже имеют элемент риска. Потому решение о назначении конкретных мероприятий требует клинического обоснования, базирующегося на самой полной информации о соотношении риска и пользы. Такая информация должна непрерывно обновляться, чтобы предоставлять не только общие данные о переносимости и безопасности, но и данные по конкретным подгруппам пациентов с повышенным риском. У пациентов интенсивной терапии, принимаемым по медицинским причинам - из-за серьезной травмы или недавней хирургической операции - есть множество внутренних и внешних факторов риска ятрогенных осложнений. Поэтому при назначении дополнительных воздействий должно быть тщательно взвешена возможность его применения в этом клиническом состоянии, а также принято во внимание наличие сопутствующего инвазивного или сенситивного вмешательства с использованием контрольного и терапевтического оборудования.

При этом исследовательском наблюдении за госпитализированными (преимущественно после хирургических операций) пациентами было доказано, что больные, проходящие реабилитацию после ряда вмешательств и процедур, имеют большой риск пульмональных осложнений; поэтому им была назначена высокочастотная осцилляция грудной клетки для очистки дыхательных путей. Все они были прооперированными пациентами и /или у них было установлено одно или несколько терапевтических или контрольных устройств (имплантированных кардиостимуляторов, внутренних кардиодефибриляторов и вживленных портов доступа).

Результаты наблюдений, о которых сообщалось в этом исследовании, могут оказать помощь в принятии клинических решений. Высокочастотная осцилляция грудной клетки является, по-видимому, безопасным и хорошо переносимым способом терапии очистки дыхательных путей, который является альтернативным для многих прооперированных пациентов, а также других пациентов интенсивной терапии. Уровень переносимости этой процедуры был высоким для большинства пациентов и соответствовал результатам Аллана и других исследователей для пациентов, перенесших хирургическую операцию.³⁶ Никаких отрицательных эффектов от этой терапии во время этого исследования выявлено не было.

Для этого исследования есть ограничения. Это отчет о неуправляемом нерандомизированном исследовании, проводимом в двух медицинских центрах, о безопасности и переносимости процедуры для пациентов, которым была назначена высокочастотная осцилляция грудной клетки в качестве части их регулярного больничного лечения. Участники разнородны, что препятствует обобщению данных по специфическим группам пациентов. Тем не менее, результаты ободряющие и подтверждают, что высокочастотная осцилляция грудной клетки является безопасным, хорошо переносимым методом лечения для отдельных пациентов, перенесших операцию и/или госпитализированных с острым заболеванием. Чтобы оценить уровень безопасности, переносимости и эффективности такой терапии для отдельных контингентов больных, требуется дополнительное исследование.

Благодарности

Финансирование и оборудование для этого исследования были предоставлены компанией Hill-Rom, Inc.

Обзор данных и выводы выполнены Синтией Дэйви, Консалтинговая лаборатория медицинских наук и биостатистики, Школа общественного здоровья, Университет Миннесоты.

Справочные материалы

- ¹ Kempainen RR, Benditt JO. Evaluation and management of patients with pulmonary disease before thoracic and cardiovascular surgery. *Sem Thorac Cardiovasc Surg* 2001;13:105-115.
- ² de Albuquerque Medeiros R, Faresin S, Jaredim J. Postoperative lung complications and mortality in patients with mild-to-moderate COPD undergoing elective general surgery. *Arch Bronchoneumol* 2001;37:227-234.
- ³ Uzieblo M, Welsh R, Pursel SE, Chmielewski, GW. Incidence and significance of lobar atelectasis in thoracic surgical patients. *Am Surg* 2000;66:476-480.
- ⁴ Dysziewicz W, Pawlak K, Gasiorowski L. Early post-pneumonectomy complications in the elderly. *Eur J Cardiothorac Surg* 2000;17:246-250.
- ⁵ Wang J, Olak J, Ultmann RE, Ferguson MK. Assessment of pulmonary complications after lung resection. *Ann Thorac Surg* 1999;67:1444-1447.
- ⁶ Dietrich ES, Demmler M, Schulgen G, et al. Nosocomial pneumonia: a cost-of-illness analysis. *Infection*. 2002;30:61-7.
- ⁷ Trayner E, Bartolome RC. Postoperative pulmonary complications. *Med Clin N Am* 2001;85:1129-1139.
- ⁸ Massard G, Wihlm JM. Postoperative atelectasis. *Chest Surg Clin N Am*. 1998;8:503-528.

- ⁹ Torrington KG, Henderson CJ. Perioperative respiratory therapy (PORT). A program of preoperative risk assessment and individualized postoperative care. *Chest* 1988;93:946-951.
- ¹⁰ Lawrence VA, Hilsenbeck SG, Mulrow CD, Dhanda R, Sapp J, Page CP. Incidence and hospital stay for cardiac and pulmonary complications after abdominal surgery. *J Gen Int Med* 1995;10:671-678.
- ¹¹ Smetana, GW. Preoperative pulmonary evaluation. *N Engl J Med* 1999;340:937-944.
- ¹² Stiller K. Physiotherapy in intensive care: towards an evidence-based practice. *Chest* 2000;118:1801-1813.
- ¹³ Stiller K.R., Munday R.M. Chest physiotherapy for the surgical patient. *Br. J. Surg* 1992;79:745-749.
- ¹⁴ Ntoumenopoulos G, Presneill JJ, McElholum M, Cade JF. Chest physiotherapy for prevention of ventilator-associated pneumonia. *Intensive Care Med* 2002;28:850-856.
- ¹⁵ Peruzzi WT, Smith B. Bronchial hygiene therapy. *Crit Care Clin* 1995;1:79-96.
- ¹⁶ AARC Clinical Practice Guidelines: Postural drainage therapy. *Respir Care* 1991;36:1418-1426.
- ¹⁷ Selsby, DS. Chest physiotherapy may be harmful in some patients. *BMJ* 1989;298:541-542.
- ¹⁸ Connors AF, Hammon WE, Martin RJ, Rogers RM. Chest physiotherapy. The immediate effect on oxygenation in acutely ill patients. *Chest* 1980;78:559-564.
- ¹⁹ Hammon WE, Connors AF Jr, McCaffree DR. Cardiac arrhythmias during postural drainage and chest percussion of critically ill patients. *Chest* 1992;102:1836-1841.
- Button BM, Heine RG, Catto-Smith AG, et al. Chest physiotherapy in infants with cystic fibrosis: To tip or not to tip? A five-year study. *Pediatr Pulmonol* 2003;35:208-213.
- Currie, DC, Munro C, Gaskell D, Cole PJ. Practice, problems and compliance with postural drainage: A survey of chronic sputum producers. *Br J Dis Chest* 1986;80:249-253.
- Hansen LG, Warrick WJ, Hansen KL. Mucus transport mechanisms in relation to the effect of high-frequency chest compression (HFCC) on mucus clearance. *Pediatr Pulmonol* 1994;17:113-118.
- King M, Phillips DM, Wight D, Gross D, Chang HK. Tracheal mucus clearance in high frequency oscillation: effect of peak flow rate bias. *Eur Respir J* 1990;3:6-13.
- Gross RJ, Zidulka A, O'Brian C, et al. Peripheral mucociliary clearance with high-frequency chest wall compression. *J Appl Physiol* 1985;58:1157-1163.
- King, M, Phillips DM, Gross D, Vartian V, Chang HK, Zidulka A. Enhanced tracheal mucus clearance with high frequency chest wall compression. *Am Rev Respir Dis* 1983;128:511-515.
- Tomkiewicz RP, Biviji AA, King M. Effects of oscillating air flow on the rheological properties and clearance of mucous gel simulants. *Biorheology* 1994;31:511-20.
- App EM, Wunderlich MO, Lohse P, King M, Matthys H. Oscillatory physiotherapy for bronchial diseases: rheological and anti-inflammatory effects. *Pneumologie* 1999;53:348-359.
- Dasgupta B, King M, Molecular basis for mucolytic therapy. *Can Respir J* 1983;2:223-230.
- Chang HK, Weber ME, King M. E. Mucus transport by high-frequency nonsymmetrical oscillatory airflow. *J Appl Physiol* 1988;65:1203-1209.
- Kluft J, Beker I, Castagnino M, Gaiser J, Fink RJ. A comparison of bronchial drainage treatments in cystic fibrosis. *Pediatr Pulmonol* 1996;22:271-274.
- Rueling S, Adams C. Close to the vest: A novel way to keep airways clear. *Nursing* 2003;33:56-57.
- Langenderfer B. Alternatives to percussion and postural drainage. *J Cardiopulm Rehabil* 1998;18:283-289.
- Oermann CM, Sockrider MM, Giles D, Sontag MK, Accurso FJ, Castile RG. Comparison of high frequency chest wall oscillating positive expiratory pressure in the home management of cystic fibrosis. A pilot study. *Pediatr Pulmonol* 2001;32:372-377.
- Arens R, Gozal D, Omlin KJ, et al. Comparison of high-frequency chest compression and conventional chest physiotherapy in hospitalized patients with cystic fibrosis. *Am J Respir Crit Care Med* 1994;150:1154-7.
- Braggion C, Capelletti M, Cornacchia M, Zanolla L, Mastella G. Short-term effects of three chest physiotherapy regimens in patients hospitalized for exacerbations of cystic fibrosis: a cross-over randomized study. *Pediatr Pulmonol* 1995;19:16-22.
- Allan JS, Garrity JM, Donahue DM. The utility of high-frequency chest wall oscillation therapy in the post-operative management of thoracic surgical patients. *Chest* 2003;124(suppl 4):235S.
- Slany J, Karnik R. [Complications of routine intensive care interventions] *Wien Klin Wochenschr* 1994;106:1-7
- Kearney TJ, Shabot MM. Pulmonary artery rupture associated with the Swan-Ganz catheter. *Chest* 1995;108:1349-1352.
- Ivanov R, Allen J, Clavin JE. The incidence of major morbidity in critically ill patients managed with pulmonary artery catheters: a meta-analysis. *Crit Care Med* 2002;28:881-882.
- Sandham JD, Hull RD, Brandt RF, et al. Canadian Critical Care Trials Group. A randomized, controlled trial of the use of pulmonary-artery catheters in high-risk surgical patients. *NEJM* 2003; 2;348:5-14.
- Hess DR. The evidence for secretion clearance techniques. *Resp Care* 2001;46:1276-1304.