

Конфликт интересов. Все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Корреспондирующий автор. Исакова Марьям Козыбаевна, кандидат медицинских наук, Ассоциированный профессор, НУО «Казахстанско-Российский медицинский университет», Казахстан, Алматы. E-mail: isakova-maryam@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2154-8174>.

Вклад авторов. Все авторы внесли равноценный вклад в разработку концепции, выполнение, обработку результатов и написание статьи. Заявляем, что данный материал ранее не публиковался и не находится на рассмотрении в других издательствах.

Финансирование. Отсутствует.

Статья поступила: 19.04.2023.

Принята к публикации: 26.05.2023.

Conflict of interest. All authors declare that there is no potential conflict of interest requiring disclosure in this article.

Corresponding author. Isakova Maryam K., Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, NEI «Kazakh-Russian Medical University», Kazakhstan, Almaty. E-mail: isakova-maryam@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2154-8174>.

Contribution of the authors. All authors have made an equal contribution to the development of the concept, implementation, processing of results and writing of the article. We declare that this material has not been published before and is not under consideration by other publishers.

Financing. Absent.

Article submitted: 19.04.2023.

Accepted for publication: 26.05.2023.

УДК: :616.24-008.4:615.816-053.2
МРНТИ: 76.29.36.

DOI: 10.24412/2790-1289-2023-2-51-58

МЕЖДУНАРОДНЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЕГКИХ У ДЕТЕЙ С ЭКСТРЕМАЛЬНО НИЗКОЙ МАССОЙ ТЕЛА

* Е.О. Ли, А.Ж. Айтокова, И.И. Ельчиева, Ш.Б. Қасымбаева,
Г.М. Тоқтан, Г.С. Шерипова

НУО «Казахстанско-Российский медицинский университет», Казахстан, г. Алматы

Аннотация

Совершенствование методик респираторной поддержки, применяемых у новорожденных значительно повлияло на выживаемость и сокращение количества тяжелых осложнений от проводимой респираторной терапии. В настоящее время во всемирной неонатальной практике широко применяется метод высокочастотной вентиляции легких, особенно у недоношенных новорожденных. Такой большой интерес к данному методу респираторной поддержки возник, в связи с малым риском развития повреждения легочной ткани, учитывая обеспечение адекватного газообмена при небольшой величине дыхательного обмена и низкой амплитуде, создаваемого давления в альвеолах. Подходы к применению высокочастотной вентиляции (ВЧ ИВЛ) легких у новорожденных были позаимствованы из протоколов стран Восточной Азии и Европы, где с многолетним успехом используют данный метод, а также занимаются дальнейшими научными исследованиями в области респираторной поддержки у недоношенных новорожденных.

Ключевые слова: высокочастотная искусственная вентиляция легких (ВЧ ИВЛ), искусственная вентиляция легких (ИВЛ), недоношенные дети, дети с экстремально низкой массой тела, бронхолегочная дисплазия (БЛД), синдром дыхательных расстройств, высокочастотная осцилляторная вентиляция (HFOV).

Введение. Первоначально идея ВЧ ИВЛ возникла на основании наблюдений Хендерсона за потоком дыма, выдуваемого из трубки, а впоследствии была более подробно описана Ланкенгеймером в 1972 году [1]. Первое применение ВЧ ИВЛ в клинической практике произо-

шло в 1974 году, преимущественно при бронхоскопии и ларингоскопии. Таким образом, к началу 80-х годов прошлого столетия были получены данные, позволившие сформулировать основные преимущества ВЧ ИВЛ перед традиционной объемной вентиляцией. Впервые

ВЧ ИВЛ была успешно использована в 1981 году для лечения 8 новорожденных с синдромом дыхательных расстройств. А.П. Зильбер в 1984 году сообщил о положительном эффекте «вспомогательной осцилляторной вентиляции» с частотой до 10 Гц на фоне спонтанного дыхания у больных с бронхолегочной патологией. В 90-х годах были опубликованы многоцентровые рандомизированные исследования, установившие преимущества ВЧ ИВЛ при лечении острой дыхательной недостаточности новорожденных. Широкое применение ВЧ ИВЛ нашла в реанимационной практике и при интенсивной терапии дыхательной недостаточности. Основанием для ее использования у этого контингента больных послужили случаи, в которых традиционная вентиляция не обеспечивала удовлетворительный газовый состав артериальной крови. Первые же попытки применить ВЧ ИВЛ в такой ситуации показали, что этот метод является ценным дополнением к комплексу реанимационных мероприятий у больных с острой дыхательной недостаточностью.

ВЧ ИВЛ широко применяется при дыхательной недостаточности, связанной с тяжелой пневмонией, респираторным дистресс-синдромом, отеком легких, синдромом сдавления грудной клетки, обструкцией бронхов мокротой, затоплением легких, при эмболии легочной артерии, при бронхиальных свищах и баротравме легкого [2]. Наибольшее распространение ВЧ ИВЛ получила в детской практике, особенно при реанимации новорожденных. Считается, что при респираторном дистресс-синдроме, интерстициальной эмфиземе, ВЧ ИВЛ является хорошей альтернативой любым вариантам традиционной вентиляции.

Высокочастотная искусственная вентиляция легких – это механическая вентиляция, при которой дыхательный объем равен или меньше объема мертвого анатомического пространства, а частота дыхания составляет от 150 до 1800 колебаний в минуту.

В настоящее время выделяют три типа ВЧ ИВЛ:

1/ ВЧ ИВЛ с перемежающимся положительным давлением – на всех фазах дыхательного цикла (вдох и выдох) создаются высокочастотные модуляции или осцилляции (пневмоперкуссия).

2/ ВЧ инъекционная (струйная) вентиляция – обеспечивается вдуванием высокоскоростного прерывистого потока газа непосредственно в дыхательные пути через трехпросветный адаптер.

3/ ВЧ осцилляторная вентиляция – осуществляется за счет колебательных движений поршня и диафрагмы, при этом моделируются активный вдох и выдох.

В неонатальной практике широко используют два основных метода ВЧ ИВЛ – струйный и осцилляторный.

Проведен литературный обзор по применению ВЧ ИВЛ у новорожденных с экстремально низкой массой тела при рождении в различных клинических ситуациях. В обзор литературы были включены 16 научных статей, опубликованные в период с 2018 по 2022 годы в базах данных Pubmed, Scopus, Medline, SpringerLink.

Китайскими авторами в 2021 году проведено одноцентровое, ретроспективное, когортное исследование, посвященное терапевтическим эффектам и исходам ВЧ

ИВЛ у недоношенных детей с тяжелой рефрактерной дыхательной недостаточностью [3]. Ученые определили, что у недоношенных новорожденных с тяжелой рефрактерной дыхательной недостаточностью уровень смертности остается высоким. Обнаружено, что тяжесть дыхательной недостаточности, оцениваемая по начальному индексу оксигенации, тяжести гипотензии и начальному ответу на ВЧ ИВЛ, в значительной степени связана с конечной внутрибольничной смертностью. Дальнейшие усилия по предотвращению дисфункции органов-мишеней и агрессивное лечение сепсиса являются потенциально возможными целями для оптимизации результатов.

В европейском журнале педиатрии вентиляции [4]. Результат показал, что ВЧ ИВЛ связан со снижением возникновения ВЖК. Однако в отношении БЛД не обнаружено преимуществ ВЧ ИВЛ над традиционной вентиляцией.

В публикации 2022 года в журнале «Реанимация+» был представлен новый подход к вентиляции с использованием ВЧ ИВЛ во время сердечно-легочной реанимации у глубоко недоношенного ребенка [5]. В этом клиническом случае подчеркивается важность адекватного раздувания легких, что является актуальной темой, а в рекомендациях по реанимации новорожденных рекомендуется скоординированное соотношение компрессий и вентиляции 3:1 во время сердечно-легочной реанимации (СЛР).

Новорожденный женского пола, гестационный возраст 32 недели, весом 970 г, после рождения отмечалась вялость и апноэ. Легкие на рентгеновском снимке, сделанном во время реанимации, определяется симптом «белых легких». Цель состояла в том, чтобы эффективно открыть легкие с помощью ВЧ ИВЛ вместо вентиляции с положительным давлением, которая безуспешно использовалась до 7-й минуты жизни. Через 15 мин после рождения частота сердечных сокращений постоянно снижалась ниже 60/мин, были начаты компрессии грудной клетки с асинхронной ВЧ ИВЛ, трижды введен адреналин и дважды эндотрахеально введен экзогенный сурфактант. Стабилизировать новорожденного удалось после 15-минутной СЛР после восстановления спонтанного кровообращения. В данном случае ВЧ ИВЛ смогла обеспечить альтернативный и спасательный вариант вентиляции во время неонатальной СЛР.

В 2021 году в России было опубликовано исследование, посвященное применению ВЧ ИВЛ у детей с экстремально-низкой массой тела (ЭНМТ) в родильном зале [6]. Авторами сделан вывод, что ВЧ ИВЛ можно применять как стартовую респираторную стратегию в родильном зале у детей с ЭНМТ, позволяющую ускорить восстановление ЧСС сразу же после рождения более 100 ударов в минуту, снизить частоту некротического энтероколита, а также уменьшить риск летального исхода. Необходимо проведение проспективного рандомизированного контролируемого исследования с большим количеством пациентов.

Российскими авторами проведено исследование [7], посвященное использованию высокочастотной осцилляторной вентиляции легких у недоношенных детей

с экстремально низкой массой тела с сочетанными причинами тяжелых дыхательных нарушений. Критерием перевода на HFOV являлась неэффективность традиционной вентиляции. Положительный эффект в виде улучшения оксигенации был достигнут в первые 6 ч HFOV у всех исследованных 20 новорожденных.

HFOV является высокоэффективным методом терапии дыхательных расстройств в раннем неонатальном периоде.

В журнале *The New England Journal Of Medicine* опубликовано многоцентровое исследование, для определения снижает ли раннее вмешательство с высокочастотной осцилляционной вентиляцией смертность и частоту хронических заболеваний легких среди новорожденных до 28 недель гестационного возраста [8]. Они провели исследование у недоношенных детей с гестационным возрастом от 23 до 28 недель. 400 младенцев были направлены на высокочастотную осцилляционную вентиляцию, а 397 младенцев взяли на традиционную вентиляцию. Результаты, полученные при высокочастотной осцилляционной вентиляции и обычной вентиляции легких, не различаются в раннем лечении респираторных заболеваний у недоношенных детей с экстремально низкой массой тела. Оценка долгосрочных последствий потребует дополнительных последующих действий.

В Японии было проведено многоцентровое рандомизированное исследование в неонатальных центрах для переоценки безопасности и эффективности высокочастотной осцилляционной вентиляции при лечении дыхательной недостаточности у недоношенных детей весом от 750 до 2000 г при рождении [9]. 46 новорожденных были на HFO, 46 на обычной механической вентиляции лёгких. В этом исследовании результаты показали, что высокочастотная осцилляционная вентиляция лёгких не увеличивает риск серьезных осложнений, таких как утечки воздуха, внутрижелудочковое кровоизлияние, перивентрикулярный лейкомаляция и бронхолегочная дисплазия.

Цель следующего исследования состояла в том, чтобы изучить влияние и оценка VG (гарантированный объем) в сочетании с HFOV сразу после введения сурфактанта у крайне недоношенных детей, когда растяжимость легких может быстро измениться [10].

Маневр рекрутмента открытого легкого HFOV и введение сурфактанта сопровождаются улучшением альвеолярной вентиляции, что может привести к волюмотравме и гипокании. Волюмотравма может способствовать БЛД, а гипокания может изменить мозговой кровоток, увеличивая риск внутрижелудочкового кровоизлияния (ВЖК), перивентрикулярной лейкомаляции (ПВЛ) и неблагоприятных исходов для развития нервной системы. В модели дефицита сурфактанта у новорожденных использование HFOV в сочетании с вентиляцией VG продемонстрировало преимущества установки VThf вместо ΔP для изменения удаления CO_2 из легких. Гарантия объема в сочетании с HFOV может быть клинически выгодной, особенно в условиях, при которых растяжимость легких может быстро меняться, например, вовремя и сразу после лечения сурфактантом.

Принимая во внимание последнюю литературу, многоцентровое рандомизированное контролируемое исследование IN-REC-SUR-E продемонстрировало, как введение сурфактанта после рекрутирования легких с помощью HFOV снижает потребность в ИВЛ в первые 72 часа жизни у крайне недоношенных детей по сравнению с стандартной методикой IN-SUR-E. Опубликованные данные о HFOV + VG у недоношенных детей постоянно сообщают о возможном использовании и лучшем поддержании VThf и pCO_2 в целевом диапазоне (19 – 22).

Похожее исследование было опубликовано в Европейском журнале педиатрии [11]. В настоящем исследовании сочетание более раннего использования HFOV со стратегией, включающей более высокие частоты и более низкий дыхательный объем, было связано с уменьшением бронхолегочной дисплазии. Этот эффект был особенно заметен у пациенток с гестационным возрастом менее 29 недель, вероятно потому, что они находятся на более ранней стадии развития легких, при которой предотвращение индуцированного вентилятором повреждения легких играет ключевую роль в снижении частоты бронхолегочной дисплазии. Мы обнаружили, что в этой группе крайне незрелых младенцев модификации стратегии ведения HFOV были связаны как минимум с 48%-ным увеличением SF-BPD.

В следующем рандомизированном контролируемом исследовании опубликованном 12 декабря 2022 года на журнале BMC Педиатрия изучался вопрос об эффективности регулярно выполняемых маневра рекрутмент (LRM) с точки зрения кумулятивной оксигенации и среднего давления в дыхательных путях у крайне недоношенных детей, получавших HFOV [12].

Предполагалось, что регулярно выполняемые LRM снижают кумулятивный индекс насыщения кислородом (OSI) во время HFOV у недоношенных детей. Это рандомизированное контролируемое исследование является первым исследованием, в котором проанализировано многократное выполнение LRM во время HFOV у крайне недоношенных детей. Полученные данные не привели к значительному изменению числа маневров рекрутмента легких, и, как следствие, между исследуемыми группами не наблюдалось различий в оксигенации. Исследователи пришли к выводу, что наложение плановых рекрутментов легких два раза в день во время HFOV не требуется в условиях защиты легких с использованием маневров рекрутмента легких для предотвращения длительного коллапса легких у недоношенных детей. Исследование было частью процесса улучшения качества, в котором стремились стандартизировать LRM во время HFOV.

Еще одно исследование, было проведено китайскими учеными, ретроспективный анализ данных инкубированных недоношенных детей, нуждающихся в искусственной вентиляции легких [13]. Все младенцы, включенные в это исследование, изначально получали терапию CMV. У младенцев, у которых в последующем развилась гипоксемия ($PaO_2 < 50$ мм рт. ст. или $SpO_2 < 80\%$) или гиперкапния ($PaCO_2 > 60$ мм рт. ст.) с $OI > 15$, в качестве спасательной терапии использовали HFOV.

В начальной фазе HFOV у всех пациентов выполняли маневр рекрутмента объема легких в соответствии с обычной клинической практикой, начиная со среднего давления в дыхательных путях на 1-2 см вод. ст. выше, чем при получении CMV. Затем вводили небольшое увеличение среднего давления в дыхательных путях на 1-2 см вод. ст. до тех пор, пока не было достигнуто критическое давление открытия легких. Давление открытия и оптимальное давление определяли с помощью маневра рекрутмента легкого, как описано ранее. Идеальное раздувание легких контролировалось рентгенографией грудной клетки, правая диафрагма сохранялась на уровне 9-го ребра. Измерения газов артериальной крови проводились каждые 12 часов в течение 72 часов после терапии, а затем каждые 24 часа в течение всего периода исследования HFOV. Целевыми показателями газов артериальной крови были поддержание pH от 7,25 до 7,45, PaO₂ от 50 до 70 мм рт.ст., PaCO₂ от 35 до 55 мм рт.ст. и насыщение артериальной крови кислородом (SpO₂) от 90% до 95%.

Cools и соавторы сообщили, что использование факультативной HFOV привело к небольшому снижению риска хронических заболеваний легких по сравнению с CMV [14]. В этом исследовании авторы использовали HFOV в качестве спасательной терапии для всех младенцев при неэффективности CMV. А также HFOV с VG снижала частоту гиперкапнии и комбинированный исход смерти или БЛД по сравнению с одной HFOV. Наблюдалась тенденция к снижению частоты гипокарбии в группе HFOV с VG. Таким образом, авторы предполагают, что использование этой новой стратегии защиты легких может уменьшить повреждение легких, вызванное вентилятором, у недоношенных детей.

Девятнадцать рандомизированных исследований, включающих более 4 000 новорожденных [15], сравнивали обычную и высокочастотную осцилляторную вентиляцию легких (HFOV). В HFOV аппарат ИВЛ создаёт колебания давления за счет колеблющихся поршней или диафрагм вокруг заданного среднего давления в дыхательных путях, что приводит к активным фазам вдоха и выдоха. На сегодняшний день нет убедительных доказательств различий в долгосрочных респираторных или нервно-психических исходах при сравнении обычной вентиляции с HFOV. Имеются некоторые свидетельства того, что использование HFOV может немного снизить риск БЛД за счет более высокой частоты утечки воздуха и тенденции к более краткосрочным неврологическим нежелательным явлениям. Некоторые из последних могут быть связаны с гипокарбией. В нем подчеркивается, что установка HFOV должна сопровождаться длительным и тщательным мониторингом уровня CO₂, поскольку HFOV обеспечивает очень мощное удаление CO₂. Недавние исследования продемонстрировали возможность сочетания объемного таргетирования с HFOV у маловесных недоношенных новорожденных. Этот предстоящий новый метод теоретически сводит к минимуму повреждение легких из-за заданного чрезвычайно малого целевого дыхательного объема, приближающегося к мертвому пространству

дыхательного центра. При фиксированной частоте колебаний в диапазоне 12-20 Гц амплитуда давления автоматически регулируется на основе заданного целевого дыхательного объема HFOV. Исследования, сообщающие о значимых клинических результатах, еще не опубликованы, поэтому этот режим вентиляции требует срочного изучения.

В следующей статье представляется клинический случай, новый подход к вентиляции с использованием высокочастотной колебательной вентиляции (HFOV) во время неонатальной сердечно-легочной реанимации (СЛР) экстремально недоношенного новорожденного [16]. Цель заключалась в том, чтобы эффективно открыть легкие с помощью HFOV вместо вентиляции с положительным давлением, который безуспешно использовался до 7-й минуты жизни. Через 15 мин после рождения частота сердечных сокращений постоянно снижалась ниже 60/мин, были начаты компрессии грудной клетки с асинхронной ВЧОВ, трижды введен адреналин и дважды эндотрахеально закапан сурфактант. Стабилизировать состояние пациента удалось после 15-минутной СЛР после восстановления спонтанного кровообращения. В данном случае HFOV могла обеспечить альтернативный и спасательный вариант вентиляции во время неонатальной СЛР.

В нескольких исследованиях изучалось увлажнение вдыхаемого газа у младенцев (ЭНМТ), особенно во время высокочастотной осцилляторной вентиляции (HFOV) [17]. Цель авторов данной статьи – сравнить влажность во время HFOV и перемежающейся вентиляции с положительным давлением (IPPV) *in vitro* и *in vivo*. Неправильное увлажнение вдыхаемого газа во время искусственной вентиляции легких может ухудшить развитие легких у детей с экстремально низкой массой тела при рождении (ЭНМТ). Исследование предполагает, что недостаточное увлажнение может быть фактором, объясняющим потенциальное избыточное воспаление во время HFOV. Еще один важный результат этого исследования заключается в том, что увлажнение трудно предсказать и оно зависит не только от режима вентиляции, но и от типа контура и конкретного используемого нагревателя-увлажнителя. Эти результаты свидетельствуют о том, что увлажнение зависит от режима вентиляции и обогревательных устройств, а также о том, что HFOV требует особого управления увлажнением.

Заключение. Таким образом, научные исследования в области ИВЛ и усовершенствование оборудования в течение последних 30 лет были направлены на новые методы терапии, которые способствуют адекватному жизнеобеспечению в сочетании с минимальным риском ятрогенного повреждения. Высокочастотная искусственная вентиляция легких, открывает возможности для проведения необходимой респираторной поддержки, одновременно сводя к минимуму вентилятор-ассоциированное повреждение легкого в виде реотравмы, а также снижает риск возникновения ВЖК и даже может быть успешно использована в качестве метода вентиляции во время реанимационных мероприятий.

В настоящее время ВЧО ИВЛ стала частью всеобъемлющей стратегии искусственной вентиляции легких в неонатальной практике, применяемой во всем мире в качестве приоритетной и высокоэффективной методики.

Список литературы:

1. Guo Y.X., Wang Z.N., Li Y.T., Pan L., Yang L.F., Hu Y., Sun Y.Y., Cai L.M., Chen Z. High-frequency oscillatory ventilation is an effective treatment for severe pediatric acute respiratory distress syndrome with refractory hypoxemia. *Ther Clin Risk Manag.* 2016; 12: 1563–1571. doi: 10.2147/TCRM.S115884. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5077263/>.
2. Анестезиология и реаниматология / под ред. О. А. Долиной. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2007. – 576 с. URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970404065.html>.
3. Yang M-C., Hsu J-F., Hsiao H-F. et al. Use of high frequency oscillatory ventilator in neonates with respiratory failure: the clinical practice in Taiwan and early multimodal outcome prediction. *Sci Rep.* 2020 Apr 20; 10 (1): 6603. doi: 10.1038/s41598-020-63655-8. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32313052/>.
4. Liu K., Chen L., Xiong J. et al. HFOV vs CMV for neonates with moderate-to-severe perinatal onset acute respiratory distress syndrome (NARDS): a propensity score analysis. *Eur J Pediatr.* 2021 Jul; 180 (7): 2155–2164. doi: 10.1007/s00431-021-03953-z. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33638098/>.
5. Guo Y.X., Wang Z.N., Li Y.T., Pan L., Yang L.F., Hu Y., Sun Y.Y., Cai L.M., Chen Z. High-frequency oscillatory ventilation is an effective treatment for severe pediatric acute respiratory distress syndrome with refractory hypoxemia. *Ther Clin Risk Manag.* 2016; 12: 1563–1571. doi: 10.2147/TCRM.S115884. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5077263/>.
6. Hsu J-F., Yang M-C., Chu S-M. et al. Therapeutic effects and outcomes of rescue high-frequency oscillatory ventilation for premature infants with severe refractory respiratory failure. *Sci Rep* (2021). 11: 8471. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88231-6>. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8055989/>.
7. Мостовой А.В., Карпова А.Л., Володин Н.Н., Карпов Н.Ю. Применение высокочастотной искусственной вентиляции легких в родильном зале у недоношенных новорожденных детей с респираторным дистресс-синдромом // *Педиатрия им. Г.Н. Сперанского.* 2021; Т.100 (1): 17–23. URL: <https://pediatrjournal.ru/archive?show>. 17–23. URL: <https://pediatrjournal.ru/archive?show>].
8. Alice H. Johnson, M.B., Ch.B., Janet L. Peacock, Ph.D., Anne Greenough, M.D., Neil Marlow, D.M., Elizabeth S. Limb, M.Sc., Louise Marston, M.Sc., and Sandra A. Calvert, M.B., B. Chir. et al. High-Frequency Oscillatory Ventilation for the Prevention of Chronic Lung Disease of Prematurity. URL: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejmoa020432>.
9. Yunosuke Ogawa, Katsuyuki Miyasaka, Toshio Kawano, Soichi Imura, Kazuhisa Inukai, Kazuo Okuyama, Kouki Oguchi, Hajime Togari, Hiroshi Nishida, Jun Mishina, A multicenter randomized trial of high frequency oscillatory ventilation as compared with conventional mechanical ventilation in preterm infants with respiratory failure. *Early Human Development*, Volume 32, Issue 1, 1993, Pages 1–10. [https://doi.org/10.1016/0378-3782\(93\)90088-C](https://doi.org/10.1016/0378-3782(93)90088-C). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/037837829390088C>.
10. Milena Tana, Angela Paladini, Chiara Tirone, Claudia Aurilia, Alessandra Lio, Anthea Bottoni, Simonetta Costa, Eloisa Tiberi, Roberta Pastorino, Giovanni Vento. Effects of High-Frequency Oscillatory Ventilation With Volume Guarantee During Surfactant Treatment in Extremely Low Gestational Age Newborns With Respiratory Distress Syndrome: An Observational Study. *Pediatr.* 2022 Mar 3;9:804807. doi: 10.3389/fped.2021.804807. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35310140/>.
11. Cristina Ramos-Navarro, Noelia González-Pacheco, Ana Rodríguez-Sánchez de la Blanca, Manuel SánchezLuna. Effect of a new respiratory care bundle on bronchopulmonary dysplasia in preterm neonates. *European Journal of Pediatrics.* 2020 Dec;179(12):1833–1842. doi: 10.1007/s00431-020-03694-5. Epub 2020 Jun 2. URL: <https://doi.org/10.1007/s00431-020-03694-5/>.
12. Tobias Werther, Erik Kueng, Lukas Aichhorn, Linda Pummer, Katharina Goeral, Angelika Berger, Michael Hermon and Katrin Klebermass - Schrehof. Regular lung recruitment maneuvers during high - frequency oscillatory ventilation in extremely preterm infants: a randomized controlled trial. Werther et al. *BMC Pediatr.* 2022 Dec 12; 22 (1): 710. doi: 10.1186/s12887-022-03780-7. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36503480/>.
13. Lih-Ju Chena, Jia-Yuh Chena. Effect of high-frequency oscillatory ventilation combined with volume guarantee on preterm infants with hypoxic respiratory failure. a Department of Pediatrics, Changhua Christian Children's Hospital, Changhua, Taiwan, ROC; bInstitute of Medicine, Chung Shan Medical University, Taichung, Taiwan, ROC. *J Chin Med Assoc.* 2019 Nov; 82 (11): 861–864. doi: 10.1097/JCMA.000000000000146. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31693534/>.
14. Cools F., Offringa M., Askie L.M. Elective high frequency oscillatory ventilation versus conventional ventilation for acute pulmonary dysfunction in preterm infants. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015 Mar 19; (3):CD000104. doi: 10.1002/14651858.CD000104.pub4. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25785789/>.
15. Sven M. Schulzke, Benjamin Stoecklin. Update on ventilatory management of extremely preterm infants - A Neonatal Intensive Care Unit perspective. *Paediatr Anaesth.* 2022 Feb; 32 (2): 363–371. doi: 10.1111/pan.14369. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34878697/>.
16. Claude Danan MD, Manon Tauzin MD, Camille Jung MD, PhD, Xavier Durrmeyer MD, PhD, Laurence Caeymaex MD, PhD, Charles Treussart MD, Fabrice Decobert MD, Bruno Louis MD. Humidity during high- frequency oscillatory ventilation compared to intermittent positive

pressure ventilation in extremely preterm neonates: An in vitro and in vivo observational study. *Pediatr Pulm- onol.* 2023 Jan; 58 (1): 66–72. Published online 2022 Sep 19. doi: 10.1002/ppul.26157. URL: <https://doi.org/10.1002/ppul.26157>.

17. Solís-García G., Ramos-Navarro C., González-Pacheco N., Sánchez-Luna M. Lung protection strategy with high-frequency oscillatory ventilation improves respiratory outcomes at two years in preterm respiratory distress syndrome: a before and after, quality improvement study. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2022 Dec; 35 (26): 10698–10705. doi: 10.1080/14767058.2022.2155040. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36521851/>. recruitment maneuvers during high - frequency oscillatory ventilation in extremely preterm infants: a randomized controlled trial. Werther et al. *BMC Pediatr.* 2022 Dec 12; 22 (1): 710. doi: 10.1186/s12887-022-03780-7. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36503480/>.

18. Lih-Ju Chena, Jia-Yuh Chena. Effect of high-frequency oscillatory ventilation combined with volume guarantee on preterm infants with hypoxic respiratory failure. a Department of Pediatrics, Changhua Christian Children's Hospital, Changhua, Taiwan, ROC; bInstitute of Medicine, Chung Shan Medical University, Taichung, Taiwan, ROC. *J Chin Med Assoc.* 2019 Nov; 82 (11): 861–864. doi: 10.1097/JCMA.000000000000146. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31693534/>.

19. Cools F., Offringa M., Askie L.M. Elective high frequency oscillatory ventilation versus conventional ventilation for acute pulmonary dysfunction in preterm infants. *Cochrane Database Syst Rev.* 2015 Mar 19; (3):CD000104. doi: 10.1002/14651858.CD000104.pub4. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25785789/>.

20. Sven M. Schulzke, Benjamin Stoecklin. Update on ventilatory management of extremely preterm infants - A Neonatal Intensive Care Unit perspective. *Paediatr Anaesth.* 2022 Feb; 32 (2): 363–371. doi: 10.1111/pan.14369. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34878697/>.

21. Claude Danan MD, Manon Tauzin MD, Camille Jung MD, PhD, Xavier Durrmeyer MD, PhD, Laurence Caeymaex MD, PhD, Charles Treussart MD, Fabrice Decobert MD, Bruno Louis MD. Humidity during high-frequency oscillatory ventilation compared to intermittent positive pressure ventilation in extremely preterm neonates: An in vitro and in vivo observational study. *Pediatr Pulmonol.* 2023 Jan; 58 (1): 66–72. Published online 2022 Sep 19. doi: 10.1002/ppul.26157. URL: <https://doi.org/10.1002/ppul.26157>.

22. Solís-García G., Ramos-Navarro C., González-Pacheco N., Sánchez-Luna M. Lung protection strategy with high-frequency oscillatory ventilation improves respiratory outcomes at two years in preterm respiratory distress syndrome: a before and after, quality improvement study. *J Matern Fetal Neonatal Med.* 2022 Dec; 35 (26): 10698–10705. doi: 10.1080/14767058.2022.2155040. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36521851/>.

Spisok literatury:

1. Guo Y.X., Wang Z.N., Li Y.T., Pan L., Yang L.F., Hu Y., Sun Y.Y., Cai L.M., Chen Z. High-frequency oscillatory

ventilation is an effective treatment for severe pediatric acute respiratory distress syndrome with refractory hypoxemia. *Ther Clin Risk Manag.* 2016; 12: 1563–1571. doi: 10.2147/TCRM.S115884. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5077263/>.

2. Anesteziologija i reanimatologija / pod red. O. A. Dolinoy. – M.: GJeOTAR-Media, 2007. – 576 s. URL: <https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785970404065.html>.

3. Yang M-C., Hsu J-F., Hsiao H-F. et al. Use of high frequency oscillatory ventilator in neonates with respiratory failure: the clinical practice in Taiwan and early multimodal outcome prediction. *Sci Rep.* 2020 Apr 20; 10 (1): 6603. doi: 10.1038/s41598-020-63655-8. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32313052/>.

4. Liu K., Chen L., Xiong J. et al. HFOV vs CMV for neonates with moderate-to-severe perinatal onset acute respiratory distress syndrome (NARDS): a propensity score analysis. *Eur J Pediatr.* 2021 Jul; 180 (7): 2155–2164. doi: 10.1007/s00431-021-03953-z. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/33638098/>.

5. Guo Y.X., Wang Z.N., Li Y.T., Pan L., Yang L.F., Hu Y., Sun Y.Y., Cai L.M., Chen Z. High-frequency oscillatory ventilation is an effective treatment for severe pediatric acute respiratory distress syndrome with refractory hypoxemia. *Ther Clin Risk Manag.* 2016; 12: 1563–1571. doi: 10.2147/TCRM.S115884. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC5077263/>.

6. Hsu J-F., Yang M-C., Chu S-M. et al. Therapeutic effects and outcomes of rescue high-frequency oscillatory ventilation for premature infants with severe refractory respiratory failure. *Sci Rep* (2021). 11: 8471. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-88231-6>. URL: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC8055989/>.

7. Mostovoj A.V., Karpova A.L., Volodin N.N., Karpov N.Ju. Primenenie vysokochastotnoj iskusstvennoj ventiljacii legkih v rodil'nom zale u nedonoshennyh novorozhdennyh detej s respiratornym distress-sindromom// *Pediatrija im. G.N. Speranskogo.* 2021; Vol.100 (1): 17–23. URL: <https://pediatriajournal.ru/archive?show>].

8. Alice H. Johnson, M.B., Ch.B., Janet L. Peacock, Ph.D., Anne Greenough, M.D., Neil Marlow, D.M., Elizabeth S. Limb, M.Sc., Louise Marston, M.Sc., and Sandra A. Calvert, M.B., B. Chir. et al. High-Frequency Oscillatory Ventilation for the Prevention of Chronic Lung Disease of Prematurity. URL: <https://www.nejm.org/doi/full/10.1056/nejmoa020432>.

9. Yunosuke Ogawa, Katsuyuki Miyasaka, Toshio Kawano, Soichi Imura, Kazuhisa Inukai, Kazuo Okuyama, Kouki Oguchi, Hajime Togari, Hiroshi Nishida, Jun Mishina, A multicenter randomized trial of high frequency oscillatory ventilation as compared with conventional mechanical ventilation in preterm infants with respiratory failure. *Early Human Development*, Volume 32, Issue 1, 1993, Pages 1–10. [https://doi.org/10.1016/0378-3782\(93\)90088-C](https://doi.org/10.1016/0378-3782(93)90088-C). URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/037837829390088C>.

10. Milena Tana, Angela Paladini, Chiara Tirone, Claudia Aurilia, Alessandra Lio, Anthea Bottoni, Simonetta Costa, Eloisa Tiberi, Roberta Pastorino, Giovanni Vento.

Effects of High-Frequency Oscillatory Ventilation With Volume Guarantee During Surfactant Treatment in Extremely Low Gestational Age Newborns With Respiratory Distress Syndrome: An Observational Study. *Pediatr*. 2022 Mar 3;9:804807. doi: 10.3389/fped.2021.804807. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/35310140/>.

11. Cristina Ramos-Navarro, Noelia González-Pacheco, Ana Rodríguez-Sánchez de la Blanca, Manuel Sánchez-Luna. Effect of a new respiratory care bundle on bronchopulmonary dysplasia in preterm neonates. *European Journal of Pediatrics*. 2020 Dec;179(12):1833-1842. doi: 10.1007/s00431-020-03694-5. Epub 2020 Jun 2. URL: <https://doi.org/10.1007/s00431-020-03694-5/>.

12 Tobias Werther, Erik Kueng, Lukas Aichhorn, Linda Pummer, Katharina Goeral, Angelika Berger, Michael Hermon and Katrin Klebermass - Schrehof. Regular lung recruitment maneuvers during high - frequency oscillatory ventilation in extremely preterm infants: a randomized controlled trial. *Werther et al. BMC Pediatr*. 2022 Dec 12; 22 (1): 710. doi: 10.1186/s12887-022-03780-7. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36503480/>.

13. Lih-Ju Chena, Jia-Yuh Chena. Effect of high-frequency oscillatory ventilation combined with volume guarantee on preterm infants with hypoxic respiratory failure. a Department of Pediatrics, Changhua Christian Children's Hospital, Changhua, Taiwan, ROC; bInstitute of Medicine, Chung Shan Medical University, Taichung, Taiwan, ROC. *J Chin Med Assoc*. 2019 Nov; 82 (11): 861-864. doi: 10.1097/JCMA.0000000000000146. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31693534/>.

14. Cools F., Offringa M., Askie L.M. Elective high frequency oscillatory ventilation versus conventional ventilation for acute pulmonary dysfunction in preterm infants. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015 Mar 19; (3):CD000104. doi: 10.1002/14651858.CD000104.pub4. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25785789/>.

15. Sven M. Schulzke, Benjamin Stoecklin. Update on ventilatory management of extremely preterm infants - A Neonatal Intensive Care Unit perspective. *Paediatr Anaesth*. 2022 Feb; 32 (2): 363-371. doi: 10.1111/pan.14369. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34878697/>.

16. Claude Danan MD, Manon Tauzin MD, Camille Jung MD, PhD, Xavier Durrmeyer MD, PhD, Laurence Caeymaex MD, PhD, Charles Treussart MD, Fabrice Decobert MD, Bruno Louis MD. Humidity during high- frequency oscillatory ventilation compared to intermittent positive pressure ventilation in extremely preterm neonates: An in vitro and in vivo observational study. *Pediatr Pulmonol*. 2023 Jan; 58 (1): 66–72. Published online 2022 Sep 19. doi: 10.1002/ppul.26157. URL: <https://doi.org/10.1002/ppul.26157>.

17. Solís-García G., Ramos-Navarro C., González-Pacheco N., Sánchez-Luna M. Lung protection strategy with high-frequency oscillatory ventilation improves respiratory outcomes at two years in preterm respiratory distress syndrome: a before and after, quality improvement study. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2022 Dec; 35 (26): 10698-10705. doi: 10.1080/14767058.2022.2155040. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36521851/>. recruitment maneuvers during high - frequency oscillatory ventilation in extremely preterm infants: a randomized controlled trial. *Werther et al. BMC Pediatr*. 2022 Dec 12; 22 (1): 710. doi: 10.1186/s12887-022-03780-7. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36503480/>.

18. Lih-Ju Chena, Jia-Yuh Chena. Effect of high-frequency oscillatory ventilation combined with volume guarantee on preterm infants with hypoxic respiratory failure. a Department of Pediatrics, Changhua Christian Children's Hospital, Changhua, Taiwan, ROC; bInstitute of Medicine, Chung Shan Medical University, Taichung, Taiwan, ROC. *J Chin Med Assoc*. 2019 Nov; 82 (11): 861-864. doi: 10.1097/JCMA.0000000000000146. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31693534/>.

19. Cools F., Offringa M., Askie L.M. Elective high frequency oscillatory ventilation versus conventional ventilation for acute pulmonary dysfunction in preterm infants. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015 Mar 19; (3):CD000104. doi: 10.1002/14651858.CD000104.pub4. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/25785789/>.

20. Sven M. Schulzke, Benjamin Stoecklin. Update on ventilatory management of extremely preterm infants - A Neonatal Intensive Care Unit perspective. *Paediatr Anaesth*. 2022 Feb; 32 (2): 363-371. doi: 10.1111/pan.14369. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34878697/>.

21. Claude Danan MD, Manon Tauzin MD, Camille Jung MD, PhD, Xavier Durrmeyer MD, PhD, Laurence Caeymaex MD, PhD, Charles Treussart MD, Fabrice Decobert MD, Bruno Louis MD. Humidity during high-frequency oscillatory ventilation compared to intermittent positive pressure ventilation in extremely preterm neonates: An in vitro and in vivo observational study. *Pediatr Pulmonol*. 2023 Jan; 58 (1): 66–72. Published online 2022 Sep 19. doi: 10.1002/ppul.26157. URL: <https://doi.org/10.1002/ppul.26157>.

22. Solís-García G., Ramos-Navarro C., González-Pacheco N., Sánchez-Luna M. Lung protection strategy with high-frequency oscillatory ventilation improves respiratory outcomes at two years in preterm respiratory distress syndrome: a before and after, quality improvement study. *J Matern Fetal Neonatal Med*. 2022 Dec; 35 (26): 10698-10705. doi: 10.1080/14767058.2022.2155040. URL: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36521851/>.

ДЕНЕ САЛМАҒЫ ЭКСТРЕМАЛДЫ ТӨМЕН НӘРЕСТЕЛЕРДЕ ӨКПЕНІ ЖОҒАРЫ ЖІЛІКТЕ ЖЕЛДЕТУДІ ҚОЛДАНУДЫҢ ХАЛЫҚАРАЛЫҚ ТӘЖІРИБЕСІ

* Е.О. Ли, А.Ж. Айтокова, И.И. Ельчиева, Ш.Б. Қасымбаева,
Г.М. Токтан, Г.С. Шерипова
«Қазақстан – Ресей медициналық университеті» МEBBM, Қазақстан, Алматы

Түйінді

Жаңа туылған нәрестелерде қолданылатын тыныс алуды қолдау әдістерін жетілдіру өмір сүруге және жүргізілетін респираторлық терапиядан болатын ауыр асқынулардың санын азайтуға айтарлықтай әсер етті. Қазіргі уақытта Дүниежүзілік неонаталдық тәжірибеде жоғары жиілікті желдету әдісі кеңінен қолданылады, әсіресе шала туылған нәрестелерде. Тыныс алу алмасуының аз мөлшерінде және альвеолаларда пайда болатын қысымның төмен амплитудасында барабар газ алмасуды қамтамасыз етуді ескере отырып пайда болды. Жаңа туылған нәрестелерде жоғары жиілікті желдетуді қолдану тәсілдері Шығыс Азия мен Еуропа елдерінің хаттамаларынан алынған, онда бұл әдіс көп жылдар бойы сәтті қолданылады, сонымен қатар шала туылған нәрестелерде тыныс алуды қолдау саласында одан әрі ғылыми зерттеулермен айналысады.

Кілт сөздер: жоғары жиілікті өкпені механикалық желдету (ЖЖ ӨМЖ), өкпені механикалық желдету (ӨМЖ), шала туылған нәрестелер, дене салмағы өте төмен балалар, бронхопұлмональды дисплазия (БПД), тыныс алу бұзылыстары синдромы, жоғары жиілікті оксигаторды желдету (HFOV).

INTERNATIONAL EXPERIENCE OF USING HIGH FREQUENCY VENTILATION IN NEONATE WITH EXTREME LOW BIRTH WEIGHT

*Yekaterina Li, Arailym Aitokova, Indira Ilchiyeva, Shyrin Kasymbaeva,
Gulnur Toktan, Gulistan Sheripova
NEI «Kazakh-Russian Medical University», Kazakhstan, Almaty

Summary

Improvement in respiratory support methods used for newborns has significantly influenced survival rates and reduced the incidence of severe complications associated with respiratory therapy. Currently, the high-frequency ventilation method is widely employed in global neonatal practice, particularly for premature infants. The interest in this respiratory support method stems from its low risk of lung injury, as it ensures adequate gas exchange with minimal tidal volume and low amplitude of pressure created in the alveoli. Approaches to the application of high-frequency ventilation in newborns have been borrowed from protocols in Eastern Asia and Europe, where this method has been successfully utilized for many years and continues to be the subject of ongoing scientific research in the field of respiratory support for premature newborns.

Key words: high-frequency artificial lung ventilation (HF ALV), respiratory support, premature infants, infants with extremely low birth weight, bronchopulmonary dysplasia (BPD), mechanical ventilation, respiratory distress syndrome, high frequency oscillatory ventilation (HFOV).

Конфликт интересов. Все авторы заявляют об отсутствии потенциального конфликта интересов, требующего раскрытия в данной статье.

Корреспондирующий автор. Ли Екатерина Олеговна, врач резидент-неонатолог НУО «Казахстанско-Российского медицинского университета», Казахстан, г. Алматы. E-mail: yekaterinatenlee@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7244-1548>.

Вклад авторов. Все авторы внесли равноценный вклад в разработку концепции, выполнение, обработку результатов и написание статьи. Заявляем, что данный материал ранее не публиковался и не находится на рассмотрении в других изданиях.

Финансирование. Отсутствует.

Статья поступила: 20.03.2023.

Принята к публикации: 30.06.2023.

Conflict of interest. All authors declare that there is no potential conflict of interest requiring disclosure in this article.

Corresponding author. Li Yekaterina O., resident neonatologist, NEI «Kazakh-Russian Medical University», Kazakhstan, Almaty. E-mail: yekaterinatenlee@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-7244-1548>.

Contribution of the authors. All authors have made an equal contribution to the development of the concept, implementation, processing of results and writing of the article. We declare that this material has not been published before and is not under consideration by other publishers.

Financing. Absent.

Article submitted: 20.03.2023.

Accepted for publication: 30.06.2023.