

© Коллектив авторов, 2022
УДК 616.26+611.26+616-092
DOI – <https://doi.org/10.14300/mnnc.2022.17079>
ISSN – 2073-8137

ДИСФУНКЦИЯ ДИАФРАГМЫ

О. М. Урясьев¹, С. И. Глотов¹, И. Б. Пономарева¹,
Е. В. Алмазова², Л. А. Жукова¹, Е. А. Алексеева¹

¹ Рязанский государственный медицинский университет
им. академика И. П. Павлова, Российская Федерация

² Клиническая больница им. Н. А. Семашко, Рязань, Российская Федерация

DYSFUNCTION OF THE DIAPHRAGM

Uryasev O. M.¹, Glotov S. I.¹, Ponomareva I. B.¹,
Almazova E. V.², Zhukova L. A.¹, Alekseeva E. A.¹

¹ I. P. Pavlov Ryazan State Medical University, Russian Federation

² N. A. Semashko Clinical Hospital, Ryazan, Russian Federation

Дисфункция диафрагмы относится к редким причинам респираторных нарушений, выраженность которых колеблется от умеренных в случаях ее слабости до выраженных – при параличе диафрагмы. Сложности диагностики дисфункции диафрагмы определяются многообразием этиологических факторов, необычностью клинических проявлений – от субклинических дыхательных расстройств до выраженной дыхательной недостаточности, нередко превалированием общей симптоматики – сонливости, раздражительности, быстрой утомляемости. При параличе диафрагмы возникают выраженные торакоабдоминальные нарушения. Подробно рассмотрены физикальные и инструментальные методы диагностики. В лечении используются как консервативные, так и хирургические методы (пликация диафрагмы).

Ключевые слова: дисфункция диафрагмы, одышка, двусторонний паралич диафрагмы, пликация диафрагмы

Diaphragm dysfunction refers to the rare causes of respiratory disorders, the severity of which ranges from moderate, in cases of its weakness, to severe – with paralysis of the diaphragm. Difficulties in diagnosing of diaphragm dysfunction are determined by a variety of etiological factors, unusual clinical manifestations – from subclinical respiratory disorders to severe respiratory failure, frequent prevalence of general symptoms – drowsiness, irritability, fatigue. With paralysis of the diaphragm, there are pronounced thoracoabdominal disorders. Physical and instrumental methods of diagnostics are considered in detail. Both conservative and surgical methods (plication of the diaphragm) are used in the treatment.

Keywords: diaphragm dysfunction, shortness of breath, bilateral diaphragm paralysis, plication of the diaphragm

Для цитирования: Урясьев О. М., Глотов С. И., Пономарева И. Б., Алмазова Е. В., Жукова Л. А., Алексеева Е. А. ДИСФУНКЦИЯ ДИАФРАГМЫ. Медицинский вестник Северного Кавказа. 2022;17(3):317-322.
DOI – <https://doi.org/10.14300/mnnc.2022.17079>

For citation: Uryasev O. M., Glotov S. I., Ponomareva I. B., Almazova E. V., Zhukova L. A., Alekseeva E. A. DYSFUNCTION OF THE DIAPHRAGM. Medical News of North Caucasus. 2022;17(3):317-322.
DOI – <https://doi.org/10.14300/mnnc.2022.17079> (In Russ.)

ЖЕЛ – жизненная емкость легких
КТ – компьютерная томография
МРТ – магнитно-резонансная томография
ОГК – органы грудной клетки
УЗИ – ультразвуковое исследование

MEP – максимальное экспираторное давление
MIP – максимальное инспираторное давление
Sniff-тест – оценка движения диафрагмы во время короткого, резкого вдоха через нос

Актуальность проблемы дисфункции диафрагмы (от слабости до полной потери функции – паралича) определяется редкостью патологии, многообразием возможных этиологических факторов, необычностью клинических проявлений, сложностью дифференциальной диагностики [1].

Диафрагма – куполообразная мышечно-фиброзная структура, которая разделяет грудную и брюшную полости. Фиксируется к шестым ребрам грудной клетки с обеих сторон, иннервируется двумя диа-

фрагмальными нервами, исходящими из корешков 3-го, 4-го и 5-го шейных позвонков (С3–С5), ветвями шести нижних межреберных нервов с каждой стороны, нервными окончаниями диафрагмальных сплетений. Диафрагма играет ведущую роль в вентилиции легких. При сокращении она уплощается, вследствие чего объем грудной полости увеличивается, а брюшной – уменьшается [1, 2].

Дисфункция диафрагмы – редко встречающийся и еще более редко диагностируемый синдром, вызывающий значительные дифференциально-диагно-

стические затруднения, является одной из нечастых причин респираторных нарушений, ведущих к развитию дыхательного дискомфорта, одышки, снижению переносимости физических нагрузок. Симптоматика находится в прямой зависимости от возможности диафрагмы создавать давление – от слабости диафрагмы до полной потери ее функции – паралича. Снижение или потеря функции диафрагмы может быть односторонней или двусторонней. Диафрагма является основной инспираторной мышцей, осуществляющей вентиляцию почти всего легочного объема в покое [3–5].

Этиология

Причины дисфункции диафрагмы делятся на неврологические и миопатические. К неврологическим относятся: инсульт стволового отдела головного мозга, травма высоких отделов спинного мозга,

квадриплегия, боковой амиотрофический склероз, спондилез шейного отдела позвоночника, полиомиелит, синдром Гийена – Барре, нарушение функции диафрагмального нерва в результате хирургических вмешательств, компрессия шейного отдела позвоночника объемным образованием, последствия лучевой терапии, гипотермия, инфекции, вмешательства в области шейного отдела позвоночника [3, 4, 6–9].

Среди миопатических причин следует отметить миозит (инфекционный, воспалительный, метаболический), мышечные дистрофии, миастению, болезни соединительной ткани, длительный прием глюкокортикоидов, амилоидоз, инфекцию, атрофию после механической вентиляции легких, идиопатическую миопатию [10–15]. В таблице 1 представлены причины, обуславливающие диафрагмальную дисфункцию [3, 4, 16–20].

Таблица 1

Причины, обуславливающие диафрагмальную дисфункцию

Локализация поражения	Заболевание	Комментарии
Кора головного мозга	Нарушения мозгового кровообращения	Данная патология редко влияет на функцию диафрагмы
Внутренняя капсула	Нарушения мозгового кровообращения. Болезнь Арнольда – Киари	Возможна гиповентиляция из-за повреждения бульбоспинального тракта
Центральная нервная система	Множественный склероз	Редкая причина поражения диафрагмы. Главным образом вовлекается экспираторная мускулатура, как правило, на поздних стадиях заболевания с серьезными расстройствами двигательной активности
Спинной мозг	Травматический дегенеративный генез (выраженный спондилез)	Если поражение локализуется на уровне С3–С5
Двигательный нейрон	Постполиомиелитический синдром. Боковой амиотрофический склероз. Сирингомиелия. Паранеопластическая нейропатия. Лучевые поражения. Спинальная мышечная атрофия	Постполиомиелитический синдром может проявляться спустя годы после выздоровления. Боковой амиотрофический склероз вызывает вторичную атрофию и слабость дыхательных мышц
Плечевое сплетение	Травматический генез. Ятрогения. Идиопатические поражения	Все перечисленные ситуации могут вызвать диафрагмальный паралич
Диафрагма	Травма. Компрессия/инфильтрация. Синдром Гийена – Барре. Инфекции. Невралгическая амиотрофия (синдром Персонейдж – Тернера). Торакальные хирургические вмешательства. Идиопатические формы	Синдром Гийена – Барре наиболее частая причина остро возникающего паралича дыхательных мышц. Заражение вирусом Herpes zoster вызывает диафрагмальный паралич, если вовлечена шейная область. При идиопатических формах паралич может носить одно- или двухсторонний характер

Травматическое повреждение спинного мозга на уровне первого и второго шейных позвонков приводит к параличу диафрагмы, а при поражении на уровне третьего-пятого шейных позвонков функция диафрагмы может быть частично сохранена. Бронхогенные опухоли, туберкулез, опухоли средостения также могут приводить к компрессии диафрагмального нерва [3, 4]. Анатомически локализованные заболевания могут вызывать диафрагмальную дисфункцию из области коры головного мозга через внутреннюю капсулу, центральную нервную систему, спинной мозг, плечевое сплетение, двигательные нейроны, вплоть до достижения нервно-мышечного синапса и самих мышц [3, 5].

Метастазирующий рак сопровождается сдавлением диафрагмального нерва у 30 % пациентов. При полиомиелите дисфункция диафрагмы может наступить как в острый период заболевания, так и многие годы спустя. Примерно у 2 % больных после кардиохирургических вмешательств в области грудной клетки и шеи встречается повреждение диа-

фрагмального нерва. У 5 % пациентов с синдромом Parsonage – Turner (невралгическая амиотрофия или нейропатия плечевого сплетения) имеются нарушения функции диафрагмального нерва. Из инфекционных заболеваний, приводящих к развитию дисфункции диафрагмы, выделяют Herpes zoster и болезнь Лайма. Одной из причин нарушения функции диафрагмы при хронической патологии легких является эмфизема легких. Выраженное снижение эластической способности легких, нарушение бронхиальной проходимости при эмфиземе легких приводит к увеличению легочного объема и, как следствие этого, уплощению диафрагмы [3, 4].

Клиника дисфункции диафрагмы

Появление одышки без видимых причин, ее усиление в горизонтальном положении тела, нарушение толерантности к физическим нагрузкам, сонливость, нарастающая дыхательная недостаточность являются основными признаками дисфункции диафрагмы. Односторонний паралич диафрагмы, как правило, бывает бессимптомным и чаще выявляется случайно

при рентгенологическом исследовании, проявляется одышкой при значительной физической нагрузке. Одышка в покое, особенно в горизонтальном положении, может развиваться при наличии коморбидной патологии, в частности ожирении, миопатии, хронических обструктивных заболеваний лёгких [3–5].

При двустороннем параличе диафрагмы одышка отмечается в покое, быстро (в течение нескольких минут) развивается ортопноэ, сопровождающееся частым поверхностным дыханием [4]. Одним из существенных критериев двустороннего паралича диафрагмы является изменение характера дыхания при погружении в воду выше уровня талии. Больные спят в кресле, отказываются от плавания и физической активности, связанных с наклонами. Наряду с одышкой, у данных пациентов возможно развитие субсегментарных ателектазов и пневмоний, характерна раздражительность, быстрая утомляемость, сонливость. Боль в эпигастальной области, тошнота, изжога, отрыжка нередко сопутствуют дисфункции диафрагмы [3, 5, 6].

При физикальном обследовании у пациентов с нарушением функции диафрагмы нередко выявляется активное участие вспомогательных дыхательных

мышц, напряжение грудинно-ключично-сосцевидных мышц, укорочение перкуторного звука, ограничение экскурсии диафрагмы, ослабление или отсутствие везикулярного дыхания в нижних отделах грудной клетки. Определяется так называемый «абдоминальный парадокс» – парадоксальное западение передней брюшной стенки во время расширения грудной клетки на вдохе. Во время вдоха грудная клетка расширяется, уменьшается внутриплевральное давление, в результате чего диафрагма смещается в краиниальном направлении, а передняя брюшная стенка втягивается внутрь [3, 4, 6].

Диагностика дисфункции диафрагмы

Подозрение на диафрагмальную дисфункцию может возникнуть в результате появления необъяснимой одышки или иногда после случайного обнаружения высокого стояния диафрагмы во время визуализирующих исследований, выполняемых с другой целью. Диагноз обычно основывается на тестах визуализации – как статических, так и динамических, включая рентгенографию, рентгеноскопию и УЗИ грудной клетки. В таблице 2 приведены наиболее актуальные диагностические тесты одностороннего и двустороннего диафрагмального паралича [16, 21].

Таблица 2

Сравнение клинических данных, диагностических тестов и подходов к лечению при односторонней и двусторонней формах диафрагмального паралича [16]

Критерий	Односторонний паралич диафрагмы	Двусторонний паралич диафрагмы
Предпосылки	Боль в шее или плече; хирургические вмешательства и манипуляции на шейном отделе позвоночника; нервно-мышечные заболевания	Боль в шее или плече; хирургические вмешательства и манипуляции на шейном отделе позвоночника; нервно-мышечные заболевания
Симптоматика	Асимптомное течение; ограничение способности выполнять нагрузку; случайная рентгенологическая находка	Одышка в покое, диспноэ, ортопноэ; одышка при погружении в воду; дыхательная недостаточность
Физикальное исследование	Нет парадоксальных абдоминальных движений	Парадоксальные абдоминальные движения
Диагностические тесты: 1. ЖЕЛ 2. ЖЕЛ в положении лежа 3. Максимальное разражение на вдохе 4. Рентгеноскопия 5. Трансдиафрагмальное давление при максимальном инспираторном усилии и сомкнутых голосовых связках 6. Трансдиафрагмальное давление при чрескутанной стимуляции диафрагмального нерва	1. >70 % от должных значений 2. Уменьшение более чем на 15 % 3. <60 % от должных значений 4. Sniff-test 5. >70 см водного столба 6. <10 см водного столба	1. <50 % от должных значений 2. Уменьшение более чем на 30 % 3. <40 % от должных значений 4. Не используется 5. <40 см вод. ст. 6. <20 см вод. ст.
Осложнения	Периодическая гиповентиляция во время сна	Частая гиповентиляция во время сна; ателектазы; пневмонии; острая дыхательная недостаточность
Лечение: 1. Неинвазивная вентиляция 2. Диафрагмальный пейсмер	1. Обычно не применяется 2. Нетерапевтическая опция	1. Обычно показана 2. Да, у пациентов с серьезными повреждениями спинного мозга

Рентгенография органов грудной клетки

На рентгенограммах ОГК можно наблюдать уменьшение легочных объемов, высокое стояние купола диафрагмы на пораженной стороне, субсегментарные ателектазы в базальных отделах. Можно выявить наличие объемных образований, сдавливающих диафрагмальный нерв. При билатеральной дисфункции диафрагмы рентгенологическое исследование является недостаточно специфичным методом на фоне

недостаточно глубокого вдоха, а также уменьшения легочных объемов [3, 4].

Функциональные легочные тесты

При оценке функции внешнего дыхания у больных с дисфункцией диафрагмы выявляются рестриктивные нарушения. Исследование проводится сначала в вертикальном, затем – в горизонтальном положении. При одностороннем параличе диафрагмы жизненная емкость легких (ЖЕЛ), как правило, снижена (70–79 %

от должной величины). У пациентов с двусторонним параличом диафрагмы снижение ЖЕЛ умеренное или тяжелое (30–50 % должной величины). При двустороннем параличе в положении больного на спине ЖЕЛ снижается на 30–50 %, при одностороннем – на 10–30 %. Если ЖЕЛ в горизонтальном положении остается неизменной либо снижается незначительно (до 10 %), наличие дисфункции диафрагмы маловероятно [21, 22].

Одним из способов оценки силы дыхательных мышц является измерение давления, которое они создают в различных точках дыхательных путей. Для этого можно использовать два типа исследований: 1) неинвазивные тесты, которые определяют давление, создаваемое во рту, носу или эндотрахеальной трубке, и 2) инвазивные тесты, которые требуют размещения датчиков давления в желудке и/или в пищеводе, которые будут определять абдоминальное и плевральное давление соответственно.

Определение максимальных статических давлений во рту во время вдоха (MIP) и выдоха (MEP) с закрытыми дыхательными путями считается обоснованным методом измерения силы, создаваемой совместно инспираторной и экспираторной мышцами: это один из наиболее широко используемых методов в клинической практике, техника его проста в исполнении, метод хорошо переносится [16, 21, 22]. Абсолютные значения MIP выше 80 см H₂O у мужчин и 70 см H₂O у женщин исключают слабость инспираторной мускулатуры. Нормальные значения MEP в сочетании с низким MIP свидетельствуют об изолированной слабости диафрагмы. Снижение MIP и MEP предполагает, что вовлечение диафрагмы может быть связано с генерализованным процессом, с одновременным вовлечением инспираторной и экспираторной мышц [21].

Больным с односторонним параличом диафрагмы рекомендовано проведение Sniff-теста.

С помощью Sniff-теста оценивают движения диафрагмы во время короткого и резкого вдоха через нос, при этом в норме происходит смещение диафрагмы вниз. У больных с патологией диафрагмы во время проведения теста определяется парадоксальное смещение пораженного купола в краниальном направлении. При двустороннем параличе диафрагмы рентгенокопия с проведением Sniff-теста малоинформативна, так как часто бывают ложноположительные и ложноотрицательные результаты. Получение ложноотрицательных результатов при двусторонней дисфункции диафрагмы возможно вследствие аномальной моторики абдоминальных мышц в начале вдоха и каудального смещения парализованной диафрагмы кассудально [21, 22].

Ультразвуковое исследование

Во время проведения УЗИ диафрагмы в М-режиме на пораженной стороне в фазе вдоха определяется отсутствие активного каудального движения диафрагмы и ее парадоксальное смещение в краниальном направлении. Исследование в В-режиме позволяет оценить толщину диафрагмы в зоне прикрепления к реберному каркасу грудной клетки. При сокращении мышечных волокон толщина диафрагмы увеличивается. Признаком паралича диафрагмы является отсутствие утолщения диафрагмы на вдохе: на дисфункцию указывает утолщение диафрагмы на вдохе менее чем на 20 % [23–27].

Другие методы исследования

К другим методам исследования относят электромиографию, сомнографию, компьютерную томографию (КТ), магнитно-резонансную томографию (МРТ). Во время электромиографии проводится стимуляция

диафрагмального нерва в области шеи, что помогает определить механизм нарушения функции диафрагмы (нейропатический или миопатический). У части пациентов с двусторонней дисфункцией диафрагмы и наличием эпизодов диспноэ во время сна актуальным является сомнографическое исследование. С помощью КТ органов грудной клетки можно выявить патологию средостения, включая опухоль, что приводит к дисфункции диафрагмы. МРТ области шеи дает возможность определить патологические процессы в области спинного мозга и нервных корешков [28].

Определение трансдиафрагмального давления является одним из наиболее информативных методов диагностики двустороннего паралича диафрагмы. При этом проводится регистрация плеврального давления с помощью тонкостенного баллонного манометра, вводимого интраназально в нижнюю часть пищевода. Внутривентриальное давление определяется баллоном, введенным в желудок. Нормой является увеличение трансдиафрагмального градиента (положительное давление в желудке во время вдоха увеличивается, а давление в пищеводе становится еще более отрицательным). Проведение данного исследования показано в случаях, когда имеются клинические данные в пользу дисфункции диафрагмы, а результаты Sniff-теста отрицательны [29, 30].

Лечение дисфункции диафрагмы

Тактика ведения больных с дисфункцией диафрагмы зависит от причины, вызвавшей данную патологию. Одним из методов лечения миопатической дисфункции диафрагмы является коррекция электролитного баланса. При дисфункции диафрагмы на фоне инфекционных заболеваний применяется специфическая антимикробная, противовирусная, антипаразитарная терапия. Идиопатический паралич диафрагмы – паралич при невралгической амиотрофии – часто разрешается спонтанно, хотя выздоровление может быть медленным, затягиваясь на месяцы и годы. При персистирующей или прогрессирующей дисфункции диафрагмы пациенту может потребоваться вентиляционная поддержка: непрерывная или только во время сна. Одностороннее поражение диафрагмы чаще имеет бессимптомное течение и, как правило, не требует лечения [3, 30, 31].

Методом выбора хирургического лечения является пликация диафрагмы, когда паретичный купол укрепляют сшиванием мембранозной сухожильной центральной части с мышечным компонентом диафрагмы. Решение вопроса о проведении вмешательства рассматривается в процессе динамического наблюдения в случаях отсутствия эффекта от проводимого лечения. У некоторых пациентов возможна спонтанная ремиссия. К относительным противопоказаниям относятся значительное ожирение и прогрессирующие нейромышечные заболевания. При двустороннем параличе пликация диафрагмы малоэффективна [32–38].

Лечение двустороннего паралича диафрагмы определяется этиологией и тяжестью дисфункции. При развитии тяжелой дыхательной недостаточности показана продолжительная искусственная вентиляция легких. Электростимуляция диафрагмальных нервов таким пациентам проводится при условии, что эти нервы не повреждены. Электрическая стимуляция диафрагмы эффективна у больных с высокой спинномозговой травмой. Этот метод позволяет отказаться от механической вентиляции легких, тем самым снижая частоту респираторных инфекций. Электрическая стимуляция диафрагмы позволяет нормализовать речевую функцию [32, 34, 36, 38].

Вентиляционная поддержка успешно применяется у пациентов как с односторонним, так и с двусторонним диафрагмальным параличом, либо постоянно у последних, либо временно у первых, вплоть до полного восстановления функции диафрагмы. Вентиляторная поддержка может быть применена путем инвазивной механической вентиляции или неинвазивной вентиляции под положительным давлением (NPPV). NPPV фактически считается инструментом выбора в основном у симптоматических пациентов с двусторонним диафрагмальным параличом. Переносимость хорошая, NPPV обеспечивает как клиническое улучшение, так и улучшение показателей газов крови в долгосрочной перспективе [39, 40].

Заключение

Таким образом, диафрагмальная дисфункция может иметь неблагоприятные клинические по-

следствия. Выявление ее происхождения и лечение симптомов, таких как нарушение структуры сна и снижение физической работоспособности, требуют тщательного изучения. Ультразвуковое исследование является простым и эффективным методом оценки функции диафрагмы, определяющим объем терапевтических вмешательств. Лечение диафрагмальной дисфункции должно проводиться в центрах, хорошо оснащенных инструментально, в частности с доступом к ультразвуковому исследованию диафрагмы, к стимуляции диафрагмальных нервов, установке кардиостимулятора и с хирургическим опытом в области диафрагмальной пластики.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература/References

- Бабаев М. А., Быков Д. В., Бирг Т. М., Выжигина М. А., Еременко А. А. ИВЛ-индуцированная дисфункция диафрагмы (обзор). *Общая реаниматология*. 2018;14(3):82-103. [Babaev M. A., Bykov D. V., Birg T. M., Vyzhigina M. A., Eremenko A. A. Ventilator-induced diaphragm dysfunction (review). *Obshchaja reanimatologija. – General Reanimatology*. 2018;14(3):82-103. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.15360/1813-9779-2018-3-82-103>
- Петров В. С. Легочная гипертензия у пациентов с хронической ревматической болезнью сердца. *Наука молодых* (Eruditio Juvenium). 2019;7(3):400-407. [Petrov V. S. Pulmonary hypertension in patients with chronic rheumatic heart disease. *Nauka molodyh (Eruditio Juvenium)*. – *Science of the Young (Eruditio Juvenium)*. 2019;7(3):400-407. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.23888/HMJ201973400-407>
- Ricoy J., Rodríguez-Núñez N., Álvarez-Dobaño J. M., Toubes M. E., Riveiro V., Valdés L. Diaphragmatic dysfunction. *Pulmonology*. 2019;25(4):223-235. <https://doi.org/10.1016/j.pulmoe.2018.10.008>
- Bruells C. S., Marx G. Diaphragm dysfunction: Facts for clinicians. *Med. Klin. Intensivmed. Notfmed*. 2018;113(7):526-532. <https://doi.org/10.1007/s00063-016-0226-0>
- Dres M., Demoule A. Monitoring diaphragm function in the ICU. *Curr. Opin. Crit. Care*. 2020;26(1):18-25. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000682>
- Kocjan J., Gzik-Zroska B., Nowakowska K., Buracki M., Suchoń S. [et al.]. Diaphragm dysfunction: A comprehensive review from diagnosis to management. *Intern. Med. J.* 2021;16. <https://doi.org/10.1111/imj.15491>
- Pinto S., Alves P., Pimentel B., Swash M., de Carvalho M. Ultrasound for assessment of diaphragm in ALS. *Clin. Neurophysiol.* 2016;127(1):892-897. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2015.03.024>
- Kinugasa Y., Miyagi M., Sota T., Yamada K., Ishisugi T. [et al.]. Dynapenia and diaphragm muscle dysfunction in patients with heart failure. *Europ. J. Prevent. Cardiol.* 2018;25(16):1785-1786. <https://doi.org/10.1016/j.cardfail.2017.12.004>
- Liu Q., Duan H., Lian A., Zhuang M., Zhao X., Liu X. Rehabilitation Effects of Acupuncture on the Diaphragm Dysfunction in Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Systematic Review. *Int. J. Chron. Obstruct. Pulmon. Dis.* 2021;16:2023-2037. <https://doi.org/10.2147/COPD.S313439>
- Liu Y. Y., Li L. F. Ventilator-induced diaphragm dysfunction in critical illness. *Exp. Biol. Med.* 2018;243(17-18):1331-1339. <https://doi.org/10.1177/1535370218811950>
- Loehr J. A., Wang S., Cully T. R., Pal R., Larina I. V. [et al.]. NADPH oxidase mediates microtubule alterations and diaphragm dysfunction in dystrophic mice. *eLife*. 2018;7:e31732. <https://doi.org/10.7554/eLife.31732>
- Spieshoefer J., Henke C., Kabitz H., Randerath W., Young P. [et al.]. Inspiratory muscle dysfunction relates to clinical disease severity in patients with type I myotonic dystrophy. *Europ. Resp. J.* 2019;Sep. 28. <https://doi.org/10.1183/13993003.congress-2019.PA3930>
- Supinski G. S., Morris P. E., Dhar S., Callahan L. A. Diaphragm Dysfunction in Critical Illness. *Chest*. 2018;153(4):1040-1051. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2017.08.1157>
- Walton D., Bonello M., Steiger M. Diaphragmatic flutter. *Pract. Neurol.* 2018;18(3):224-226. <https://doi.org/10.1136/practneurol-2017-001830>
- Fayssol A., Behin A., Ogna A., Mompoin D., Amthor H. [et al.]. Diaphragm: Pathophysiology and Ultrasound Imaging in Neuromuscular Disorders. *J. Neuromusc. Dis.* 2018;5(1):1-10. <https://doi.org/10.3233/JND-170276>
- McCool F. D., Manzoor K., Minami T. Disorders of the Diaphragm. *Clin. Chest. Med.* 2018;39(2):345-360. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2018.01.012>
- Monserat J. M., Picado C., Agustí-Vidal A., Arnold-Chiari: malformation and paralysis of the diaphragm. *Respiration*. 1988;53:128-131. <https://doi.org/10.1159/000195404>
- Lagham D., Lê M. P., Srour A., Monson R., Estagnasié P. [et al.]. Diaphragm dysfunction after cardiac surgery: reappraisal. *J. Cardiothor. Vasc. Anesth.* 2021;35(11):3241-3247. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2021.02.023>
- Fayssol A. J. Diaphragm dysfunction after cardiac surgery: a global approach. *Clin. Monit. Comput.* 2020;34(3):615. <https://doi.org/10.1007/s10877-019-00424-7>
- Rochester D. F. Energy expenditure of the diaphragm or «he thinks the diaphragm is the heart». *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2001;164(12):2145-2146. <https://doi.org/10.1164/ajrccm.164.12.2109050>
- Bordoni B., Escher A. R. Functional evaluation of the diaphragm with a noninvasive test. *J. Osteopath. Med.* 2021;121(11):835-842. <https://doi.org/10.1515/jom-2021-0101>
- American Thoracic Society. ATS/ERS statement on respiratory muscle testing. *Am. J. Respir. Crit. Care Med.* 2002;166(4):518-624. <https://doi.org/10.1164/rccm.166.4.518>
- Coiffard B., Riegler S., Sklar M. C., Dres M., Vorona S. [et al.]. Diaphragm echodensity in mechanically ventilated patients: a description of technique and outcomes. *Crit. Care*. 2021;25(1):64. <https://doi.org/10.1186/s13054-021-03494-9>
- Kocyigit H., Gunalp M., Genc S., Oguz A. B., Koca A., Polat O. Diaphragm dysfunction detected with ultrasound to predict noninvasive mechanical ventilation failure: A prospective cohort study. *Am. J. Emerg. Med.* 2021;45:202-207. <https://doi.org/10.1016/j.ajem.2020.08.014>
- Laghi F. A. Jr., Saad M., Shaikh H. Ultrasound and non-ultrasound imaging techniques in the assessment of diaphragmatic dysfunction. *BMC Pulm. Med.* 2021;21(1):85. <https://doi.org/10.1186/s12890-021-01441-6>
- Kilaru D., Panebianco N., Baston C. Diaphragm Ultrasound in Weaning From Mechanical Ventilation. *Chest*. 2021;159(3):1166-1172. <https://doi.org/10.1016/j.chest.2020.12.003>
- Vetrugno L., Guadagnin G. M., Barbariol F., Langiano N., Zangrillo A., Bove T. J. Ultrasound Imaging for Diaphragm Dysfunction: A Narrative Literature Review. *Cardiothorac. Vasc. Anesth.* 2019;33(9):2525-2536. <https://doi.org/10.1053/j.jvca.2019.01.003>
- Kocjan J., Gzik-Zroska B., Nowakowska K., Buracki M., Suchoń S. [et al.]. Impact of diaphragm function parameters on balance maintenance. *PLoS One*. 2018;23(12):e0208697. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0208697>
- Spieshoefer J., Henke C., Herkenrath S.-D., Randerath W., Young P., Boentert M. Transdiaphragmatic pressure and

- contractile properties of the human diaphragm following standardized magnetic stimulation. *ERJ Open Research*. 2019;5:P67. <https://doi.org/10.1183/23120541>
30. Schepens T., Fard S., Goligher E. C. Assessing Diaphragmatic Function. *Respir. Care*. 2020;65(6):807-819. <https://doi.org/10.4187/respcare.07410>
 31. Elshafie G., Acosta J., Aliverti A., Bradley A., Kumar P. [et al.]. Chest wall mechanics before and after diaphragm plication. *J. Cardiothorac. Surg.* 2016;11:25. <https://doi.org/10.1186/s13019-016-0419-x>
 32. DiMarco A. F. Diaphragm Pacing. *Clin. Chest Med.* 2018;39(2):459-471. <https://doi.org/10.1016/j.ccm.2018.01.008>
 33. Dres M., Goligher E. C., Heunks L. M. A., Brochard L. Critical illness-associated diaphragm weakness. *J. Intensive Care Med.* 2017;43(10):1441-1452. <https://doi.org/10.1007/s00134-017-4928-4>
 34. González-Bermejo J., Morélot-Panzini C., Tanguy M. L., Meininger V., Pradat P. F., Lenglet T. Early diaphragm pacing in patients with amyotrophic lateral sclerosis (RespiStimALS): a randomised controlled triple-blind trial. *Lancet Neurol.* 2016;15:1217-1227. [https://doi.org/10.1016/s1474-4422\(16\)30233-2](https://doi.org/10.1016/s1474-4422(16)30233-2)
 35. Kaufman M. R., Bauer T., Onders R. P., Brown D. P., Chang E. I. [et al.]. Interact Treatment for bilateral diaphragmatic dysfunction using phrenic nerve reconstruction and diaphragm pacemakers. *Cardiovasc. Thorac. Surg.* 2021;32(5):753-760. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivaa324>
 36. Le Pimpec-Barthes F., Legras A., Arame A., Pricopi C., Boucherie J. C., Badia A. Diaphragm pacing: the state of the art. *J. Thorac. Dis.* 2016;8(Suppl. 4):S376-S386. <https://doi.org/10.21037/jtd.2016.03.97>
 37. Schepens T., Dianti J. Diaphragm protection: what should we target? *Curr. Opin. Crit. Care.* 2020;26(1):35-40. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000683>
 38. Schepens T., Dres M., Heunks L., Goligher E. Diaphragm-protective mechanical ventilation. *Curr. Opin. Crit. Care.* 2019;25(1):77-85. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000578>
 39. Vaporidi K. NAVA and PAV+ for lung and diaphragm protection. *Curr. Opin. Crit. Care.* 2020;26(1):41-46. <https://doi.org/10.1097/MCC.0000000000000684>
 40. Yoshihara T., Deminice R., Hyatt H. W., Ozdemir M., Nguyen B. L., Powers S. K. Angiotensin 1-7 protects against ventilator-induced diaphragm dysfunction. *Clin. Transl. Sci.* 2021;14(4):1512-1523. <https://doi.org/10.1111/cts.13015>

Поступила 18.01.2020

Сведения об авторах:

Урясьев Олег Михайлович, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой факультетской терапии им. профессора В. Я. Гармаша; тел.: 89209536981; e-mail: uryasev08@yandex.ru

Глотов Сергей Иванович, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры; тел.: 89105077310; e-mail: sergeyglot@mail.ru

Пономарева Ирина Борисовна, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры; тел.: 89105753931; e-mail: docib@yandex.ru

Алмазова Елена Викторовна, кандидат медицинских наук, заведующая пульмонологическим отделением; тел.: 89209502379; e-mail: ev_almazova@mail.ru

Жукова Лидия Анатольевна, кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры; тел.: 89109033812; e-mail: lidiyazhukova1949@yandex.ru

Алексеева Елена Анатольевна, кандидат медицинских наук, доцент кафедры; тел.: 89106269611; e-mail: ms.elena.alex@mail.ru

© Ю. В. Быков, 2022

УДК 616-008.9

DOI – <https://doi.org/10.14300/mnnc.2022.17080>

ISSN – 2073-8137

РОЛЬ ОКСИДАТИВНОГО СТРЕССА В РАЗВИТИИ ОСЛОЖНЕНИЙ ПРИ САХАРНОМ ДИАБЕТЕ

Ю. В. Быков^{1, 2}

¹ Ставропольский государственный медицинский университет, Российская Федерация

² Детская городская клиническая больница им. Г. К. Филиппского, Ставрополь, Российская Федерация

ROLE OF OXIDATIVE STRESS IN THE DEVELOPMENT OF COMPLICATIONS IN PATIENTS WITH DIABETES MELLITUS

Bykov Yu. V.^{1, 2}

¹ Stavropol State Medical University, Russian Federation

² G. K. Filippovsky City Clinical Children's Hospital, Stavropol, Russian Federation

Увеличение распространенности и рост количества осложнений сахарного диабета негативно влияют на качество жизни больных и показатели летальности. К основным осложнениям сахарного диабета относятся сердечно-сосудистые заболевания, диабетическая полинейропатия, нефропатия, ретинопатия и энцефалопатия, патогенез которых до конца не изучен. Одним из перспективных направлений поиска патофизиологических механизмов сахарного диабета является теория оксидативного стресса. Известно, что сахарный диабет провоцирует и усиливает оксидативный стресс с накоплением продуктов свободнорадикального окисления за счет хронической гипергликемии