



ICU Management & Practice, Volume 17 - Issue 3,
2017

Innovations in monitoring: from smartphones to wearables

Dr. Frederic Michard, MD, PhD

ИННОВАЦИИ В МОНИТОРИНГЕ
Перевод ординатора кафедры АРТ СМП
Кузина Яна Игоревича



ИННОВАЦИИ В МОНИТОРИНГЕ

От смартфонов до портативных технологий

В этой статье описываются последние достижения и перспективы кардиореспираторного мониторинга для хирургических пациентов, от предварительной подготовки до реабилитации, от смартфонов до носимых датчиков.

В мире насчитывается более 320 миллионов хирургических операций в год. По данным исследования International Surgical Outcomes (ISOS) мы узнали, что у около 17 % пациентов развиваются одно или несколько осложнений, связанных с операцией, и среди них 2,8 % умирают от этих осложнений. Поэтому можно сделать вывод, что около 1,5 миллионов пациентов в год (4500 пациентов в день или 3 пациента в минуту) умирают вследствие послеоперационных осложнений. В США, если бы послеоперационная смертность была частью официальной статистики контроля и профилактики заболеваний, то она была бы третьей по значимости причиной смерти сразу после рака. Послеоперационные осложнения — это не только бремя для человека, но и также увеличение больничных расходов.

Перед лицом этого клинического и экономического бремени был разработан ряд инициатив по повышению качества хирургической помощи, начиная с контрольного перечня вопросов хирургической безопасности и заканчивая малоинвазивной хирургией, защитной ИВЛ и расширенными программами реабилитации. Благодаря технологическим инновациям, более тесное, лучшее и простое наблюдение за пациентами, перенесшими операцию, также может помочь улучшить результат. Последние достижения и перспективы в



кардиореспираторном мониторинге будут обсуждаться здесь, от предварительной подготовки до реабилитации.

Предварительная подготовка

Предварительная подготовка, как известно, оказывает влияние на послеоперационный исход. Цифровые технологии и приложения, загружаемые на смартфоны или планшеты, могут способствовать предоперационному изменению физического состояния и лучшему контролю факторов риска. Подключенные устройства, такие как беспроводные плечевые манжеты и электронные весы, могут использоваться для самоконтроля артериального давления и веса, визуализации тенденций с течением времени и лучшего контроля гипертонии и избыточного веса перед операцией. Для прекращения курения были разработаны цифровые игры. В настоящее время существуют многочисленные трекеры и приложения, позволяющие пациентам контролировать и увеличивать физическую активность. Цифровые технологии эффективны только на короткий период времени, что явно является проблемой при работе с хроническими заболеваниями. Информация будет более достоверна при использовании данных цифровых технологий в течение нескольких недель перед операцией.

Интраоперационный мониторинг

Инфузионная терапия

Одним из главных факторов, влияющим на послеоперационный исход, является инфузионная терапия. Чрезмерная инфузионная терапия вызывает осложнения, связанные с отеком ткани (несостоятельность анастомоза, длительная ИВЛ), так что в какой-то момент поощряется ограничение жидкости. Однако недавние исследования продемонстрировали, что недостаточное введение жидкости также связано со значительным увеличением послеоперационных осложнений. Поэтому необходимо рассчитывать объём физиологической потребности жидкости, чтобы пациенты получали нужное количество жидкости в нужное



время. В настоящее время доступны многочисленные неинвазивные гемодинамические мониторинговые решения - от биоимпедансных трахеальных трубок, до биореакционных поверхностных электродов, аппроксимации тонометрии и методов объемного зажима. Это дает врачам возможность измерять и отслеживать изменения кровотока во время вмешательств и рационализировать введение жидкости. Показано, что предотвращение необоснованной гипоперфузии является полезным для снижения послеоперационных осложнений, продолжительности пребывания в больнице и затрат. Неинвазивные параметры, такие как индекс вариабельности плетизмографии (PVI) от импульсных оксиметров и вариации пульсового давления (PPV) полезны для обнаружения скрытой жидкости.

Мониторинг гемодинамики

Установлена тесная взаимосвязь между интраоперационной гипотензией и послеоперационными осложнениями, такими как инсульт, миокардиальное и острое повреждение почек. Периодические измерения кровяного давления не позволяют своевременно фиксировать все гипотензивные состояния. Исследования показывают, что мы можем пропустить около 7 минут гипотонии в час в течение типичных 3-часовых абдоминальных и ортопедических операций при использовании прерывистых мер артериального давления из «плечевой манжеты». Недавно было высказано предположение, что только несколько минут гипотензии способны повлиять на послеоперационный исход. Поэтому, хотя взаимосвязь между интраоперационной гипотензией и послеоперационными осложнениями еще не установлена, наиболее разумно избегать гипотонию. Это может потребовать более рационального и контролируемого использования анестетиков, в частности во время индукции, а также непрерывного контроля артериального давления с помощью неинвазивных методов для немедленного обнаружения и коррекции гипотонии.



Мониторинг реологических свойств крови

Было разработано приложение для количественной оценки потери крови в хирургических губках, просто сфотографировав их. Первые исследования показывают, что приложение работает лучше, чем методы, используемые в настоящее время для оценки хирургической кровопотери. Хотя измерение абсолютных значений гемоглобина неинвазивно остается проблемой. Отслеживание изменения с течением времени теперь выполнимо с приемлемым уровнем точности. Эти новые методы могут помочь рационализировать переливание крови и уменьшить связанные с этим осложнения.

Послеоперационный мониторинг

Недавние исследования показали, что около трети смертей после операции происходят в палатах. Эту ситуацию называют «failure to rescue» (неспособностью спасти), и она объясняет, почему больницы с одинаковыми коэффициентами послеоперационных осложнений могут иметь разные показатели смертности: результат в большей степени зависит от способности диагностировать ранние послеоперационные осложнения и вовремя назначенное лечение, чем уже при возникших осложнениях. Многие исследования показали, что состояние пациентов начинают ухудшаться до вызова медицинских бригад для проведения интенсивной терапии. В этой связи ряд исследований уже продемонстрировали ценность раннего обнаружения с помощью систем непрерывного мониторинга.

«Стоимость должна быть сбалансирована с потенциальной экономией, связанной с ожидаемым улучшением послеоперационного восстановления»

Использование пульсоксиметров для непрерывного мониторинга SpO₂ и частоты сердечных сокращений у 2 841 ортопедических пациентов (многие из которых получали опиоиды) было связано со значительным уменьшением числа непредвиденных ситуаций и переводов в ОРИТ. Использование пьезоэлектрического бесконтактного датчика (помещенного под матрасом) для



постоянного контроля частоты сердечных сокращений и частоты дыхания у 2314 хирургических пациентов было связано со значительным снижением количества вызовов на остановку сердца и длительности пребывания в стационаре. В последнее время использование беспроводных датчиков для мониторинга жизненно важных показателей (частота сердечных сокращений, SpO₂, артериальное давление, частота дыхательных движений), автоматического расчета баллов для раннего предупреждения и оповещения медсестер в случае ухудшения состояния, что снизило количество остановок сердца и смертности.

В настоящее время доступны множественные методы и системы мониторинга для активного наблюдения у амбулаторных больных. Смарт-программное обеспечение разработано для легкого и визуального обнаружения клинического ухудшения и предсказания неблагоприятных событий заранее, исключая физиологической усталости и артефактов.

Реабилитация

Трекеры активности

Ранняя мобилизация является ключевым элементом послеоперационного восстановления. Для обнаружения движения тела доступны многочисленные датчики запястья, талии или лодыжки с акселерометрами и гироскопами и, следовательно, количественная оценка физической активности. Одни из них были успешно использованы для объективной оценки ранней мобилизации, а некоторые недостаточно чувствительны, чтобы диагностировать гиподинамию, которая часто случается сразу после операции.

Электронный чек-лист

Это приложения, разработанные для оптимизации общения между пациентами и специалистами здравоохранения во время всего хирургического «путешествия». Перед операцией приложения используются для обеспечения пациентам предоперационных рекомендаций, в частности в отношении лекарственных средств. После операции и после того, как пациенты были



выписаны из больницы, они могут помочь выявить и описать осложнения, и дать рекомендации пациентам.

Экономические последствия технологических инноваций

Использование и внедрение любой новой технологии требует затрат, которые должны быть сбалансированы с потенциальной экономией, связанной с ожидаемым улучшением послеоперационного восстановления. Послеоперационные осложнения дорогостоящи в лечении, и продлевают срок пребывания в стационаре (увеличение расходов больницы), уменьшая возможности для освобождения коек для новых пациентов (снижение доходов больницы). Уравнение MERCI было предложено для быстрой и простой оценки, сколько больницы может инвестировать для улучшения качества хирургической помощи бесплатно. В этом уравнении M - уровень заболеваемости (или доля пациентов, у которых развивается как минимум одно послеоперационное осложнение), ER - ожидаемое снижение послеоперационной заболеваемости с новой стратегией, которая должна быть реализована, C - разница в затратах между пациентами с осложнениями и без них. Затем дается оценка возможных инвестиций для снижения послеоперационной заболеваемости без каких-либо затрат (рис. 1). Согласно недавним систематическому обзору и метаанализу, расширенные программы восстановления способны уменьшить послеоперационные осложнения примерно на 29%. ISOS предполагает, что средний уровень послеоперационной заболеваемости пациентов, перенесших серьезную операцию, составляет 27%, и мы знаем из другого исследования, что средняя стоимость осложнений на одного пациента составляет около 12 000 долларов США. В этом крупном хирургическом контексте уравнение MERCI показывает, что максимальные инвестиции на одного пациента (для улучшения качества бесплатной помощи) составляют около 940 долларов США (рисунок 1). Это значительная сумма денег, но она не позволит приобрести и внедрить все технологии, описанные в данной статье. При инвестировании в новое оборудование для мониторинга, уравнение MERCI помогает построить экономическую модель и определить приоритеты.



$$M \times ER \times C = I$$

M= Уровень заболеваемости %

ER= Ожидаемое снижение %

C= Стоимость осложнений / пациенты

I= Инвестиции на пациента

Пример: $0.27 \times 0.29 \times \$12000 = \$940$



Рисунок 1. Уравнение MERCI

Простое уравнение для оценки того, сколько больницы может инвестировать для улучшения качества хирургической помощи без каких-либо затрат.

Взгляд в будущее: все в одном

Благодаря инновациям в области информатики и биоинженерии, системы мониторинга будут продолжать быстро развиваться. Растяжимая и гибкая электроника позволяет измерять артериальное давление с помощью крошечных и недорогих датчиков из материалов, «ощущающих» пульс. При расположении на лучевых и сонных артериях эти датчики записывают и передают по беспроводной сети высококачественные кривые артериального давления на любой дисплей, от большого экрана до часов. При использовании в сочетании с контурными импульсными алгоритмами они откроют дверь для дистанционного и амбулаторного мониторинга передовых гемодинамических параметров. Другие переменные, такие как насыщение артериальной крови кислородом, частота дыхания, гемоглобин, температура и активность можно уже контролировать неинвазивно и непрерывно. Поэтому это только вопрос времени, когда все эти физиологические переменные будут интегрированы в один и тот же датчик в систему мониторинга (рисунок 2).



Рисунок 2. Футуристическое кольцо для наблюдения амбулаторных пациентов. Сегодня все параметры, перечисленные на рисунке, уже могут контролироваться неинвазивно и непрерывно различными датчиками и технологиями. Интеграция и миниатюризация - это только вопрос времени. Клиническая потребность очевидна.

ЧД - частота дыхания, SpO2 насыщение артериальной крови кислородом, ЧСС частота пульса, Впс - вариации частоты пульсаций (обнаружение аритмии), АД артериальное давление, сердечный выброс,

Вывод

Послеоперационные осложнения являются основным клиническим и экономическим бременем. Каждый год они несут ответственность за более чем 1 миллион смертей. Многие осложнения и смертельные случаи могут быть предотвращены с помощью более эффективного предоперационного и интраоперационного ведения, раннего выявления нежелательных осложнений и принятия более обоснованных терапевтических решений. Цифровая революция преобразует медицину, и физиологический мониторинг должен в значительной степени выиграть от постоянных инноваций в области оборудования и программного обеспечения. Новые и будущие средства мониторинга могут помочь нам улучшить качество хирургической помощи от предварительной



подготовки до реабилитации. В частности, беспроводные и переносимые датчики могут помочь обнаружить клиническое ухудшение на ранней стадии. Благодаря своевременному вмешательству они могут снизить число госпитализаций в ОРИТ, остановок сердца и послеоперационных смертей. Следующая глава физиологического мониторинга может быть написана за пределами операционной и отделения интенсивной терапии.

Конфликт интересов

Frederic Michard является основателем и управляющим директором MiCo, швейцарской консалтинговой фирмы, предоставляющей услуги компаниям медицинской техники, цифровым стартапам в области здравоохранения и инвесторам в науку о жизни.

Список литературы

Bartels K, Karhausen J, Clambey ET et al. (2013) Perioperative organ injury. *Anesthesiology*, 119: 1474-89.

Benes J, Giglio MT, Brienza N, Michard F (2014) The effects of goal-directed fluid therapy based on dynamic parameters on post-surgical outcome: a meta-analysis of randomized controlled trials. *Crit Care*, 18: 584.

Brown H, Terrence J, Vasquez P et al. (2014) Continuous monitoring in an inpatient medical-surgical unit: a controlled clinical trial. *Am J Med*, 127: 226-32.

Chen G, Chung E, Meng L et al. (2012) Impact of non-invasive and beat-to-beat arterial pressure monitoring on intraoperative hemodynamic management. *J Clin Monit Comput*, 26: 133-40.

Ghaferi AA, Birkmeyer JD, Dimick JB (2009) Variation in hospital mortality associated with inpatient surgery. *N Engl J Med*, 361: 1368-75.

International Surgical Outcomes Study Group (2016) Global patient outcomes after elective surgery: prospective cohort study in 27 low-, middle-, and high-income countries. *Br J Anaesth*, 117: 601-9.

Konig G, Waters JH, Javidroozi M et al. (2017) Real-time evaluation of an image analysis system for monitoring surgical hemoglobin loss. *J Clin Monit Comput*, Apr 7. doi: 10.1007/s10877-017-0016-0.

Marques NR, Kramer GC, Voigt RB et al. (2015) Trending, accuracy, and precision of non-invasive hemoglobin monitoring during human hemorrhage and fixed crystalloid bolus. *Shock*, 44(Suppl1): 45-9.

Michard F, Mountford WK, Krukas MR et al. (2015) Potential return on investment for implementation of perioperative goal directed fluid therapy in major surgery: A nationwide database study. *Perioper Med*, 4:11.



Michard F (2016a) MERCI for improving quality of surgical care at no cost. *World J Surg*, 40: 3095-6.

Michard F (2016b) Hemodynamic monitoring in the era of digital health. *Ann Intensive Care*, 6: 15.

Michard F, Gan TJ, Kehlet H (2017a) Digital innovations and emerging technologies for enhanced recovery programmes. *Brit J Anaesth*, Jun 9. doi: 10.1093/bja/aex140.

Michard F, Giglio MT, Brienza N (2017b) Perioperative goal-directed therapy with uncalibrated pulse contour methods: impact on fluid management and postoperative outcome. *Brit J Anaesth*, Jun 11. doi: 10.1093/bja/aex138.

Michard F, Pinsky MR, Vincent JL (2017c) Intensive care medicine in 2050: NEWS for hemodynamic monitoring. *Intensive Care Med*, 43: 440-2.

Nicholson A, Lowe MC, Parker J et al. (2014) Systematic review and meta-analysis of enhanced recovery programmes in surgical patients. *Br J Surg*, 101: 172-88.

Pinsky MR, Clermont G, Hravnak M (2016) Predicting cardiorespiratory instability. *Crit Care*, 20: 70.

Salmasi V, Maheshwari K, Yang D et al. (2017) Relationship between intraoperative hypotension defined by either reduction from baseline or absolute thresholds, and acute kidney and myocardial injury after noncardiac surgery. A retrospective analysis. *Anesthesiology*, 126: 47-65.

Subbe CP, Duller B, Bellomo R (2017) Effect of an automated notification system for deteriorating ward patients on clinical outcomes. *Crit Care*, 21: 52.

Taenzer AH, Pyke JB, McGrath SP, et al. (2010) Impact of pulse oximetry surveillance on rescue events and intensive care unit transfers: a before-and-after concurrence study. *Anesthesiology*, 112: 282-7.

Thacker K, Moutford WK, Ernst FR et al (2016) Perioperative fluid utilization variability and association with outcomes: considerations for enhanced recovery efforts in sample US surgical patients. *Ann Surg*, 263: 502-10.

Weiser TG, Haynes AB, Molina G, et al. (2015) Estimate of the global volume of surgery in 2012: an assessment supporting improved health outcomes. *Lancet*, 385(Suppl 2): S11.