

ПЕРСПЕКТИВА СОВМЕСТНОЙ БЕЛОРУССКО-КИТАЙСКОЙ РАЗРАБОТКИ И СЕРИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА УСТРОЙСТВ РЕГИСТРАЦИИ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ АКТИВНОСТИ СЕРДЦА

Губкин С. В., Лемешко Е. В., Васюкевич С. Н.

Институт физиологии НАН Беларуси

LYV1982@tut.by

Аннотация. Регистрация электрокардиограммы (ЭКГ) является стандартной процедурой в кардиологии, но ее мониторинг часто ограничивается 24 часами. Происходит это из-за ограниченной производительности электродов. Свойства границы кожа/электрод определяют качество работы медицинского оборудования. Следовательно, условия поверхности и состав материала, из которого изготовлен электрод должны соответствовать требованиям устройства регистрации ЭКГ. Важно реализовать быструю передачу полезного сигнала с малыми потерями и без артефактов.

Современные электроды с применением Ag/AgCl имеют ограниченный срок службы, так как их обезвоживание и деградация поверхности приводят к образованию различных артефактов на записи ЭКГ. Альтернатива – сухие электроды. Основой таких электродов могут послужить углеродные материалы (восстановленный оксид графена либо алмазоподобное покрытие).

摘要。记录心电图 (ECG) 是心脏病学的标准程序, 但其监测通常限于 24 小时。这是由于电极的性能有限。皮肤/电极界面的特性决定了医疗设备的性能。因此, 制造电极的材料表面条件和成分必须满足心电图记录装置的要求。实现有用信号的快速、低损耗、无伪影的传输是很重要的。使用 Ag/AgCl 的现代电极的使用寿命有限, 因为它们的脱水和表面退化会导致在 ECG 记录中形成各种伪影。另一种方法是干电极。这种电极可以基于碳材料 (还原氧化石墨烯或类金刚石涂层)。

Электрокардиография является одним из наиболее часто используемых методов диагностики в кардиологии, который регистрирует электрическую активность сердца (в случае мониторинга – с течением времени), что дает важную информацию о работе сердечно-сосудистой системы в целом.

Длительная регистрация ЭКГ является стандартной процедурой в современной кардиологии, но ее мониторинг чаще всего ограничивается 24 часами, даже если более длительное время записи представляет клинический интерес. Происходит это из-за ограниченной производительности электродов, доступных в настоящее время. Свойства границы кожа/электрод определяют качество работы медицинского оборудования. Следовательно, условия поверхности, структура и состав электродов должны соответствовать требованиям устройства. В случае разработки медицинского оборудования важно реализовать быструю передачу полезного сигнала с малыми потерями и без артефактов.

Чтобы обнаружить биоэлектрический сигнал сердца неинвазивно, электроды прикрепляют к коже конечностей и груди либо только туловища, либо только груди. Существуют электроды разной формы и из различных материалов, например, плоские металлические электроды, всасывающие электроды, одноразовые кнопочные электроды и т. д. Они имеют ряд недостатков, а именно: нестабильное соединение с кожей, сложность изготовления, высокая стоимость и др. Плоские металлические электроды представляют собой жесткие пластины, которые накладывают на конечности, а всасывающие электроды – небольшие вакуумированные чашки, которые плотно прилипают к коже. Такие электроды могут вызывать дискомфорт и даже причинять механический вред организму пациента из-за их жесткой фиксации. Одноразовые кнопочные электроды в основном используются в портативных устройствах для мониторинга ЭКГ.

Сегодня наиболее распространены кнопочные электроды с применением Ag/AgCl. Однако они имеют ограниченный срок службы, так как их обезвоживание и деградация контактной с поверхностью кожи поверхности приводят к образованию различных артефактов. Для устранения указанного недостатка используют медицинский гель, который уменьшает влияние кожи на импеданс, делая ее сухой слой ионопроводящим. Клейкая часть электрода при его отсоединении иногда может удалять волосы, вызывая боль и даже воспаление в волосяной луковице. Для лучшего контакта электрода с кожей и минимизации последнего недостатка необходима ее подготовка в местах контакта с электродами: сбривание волос и «зачистка кожи абразивом». Длительное воздействие серебросодержащих веществ может привести к местной аргирии (синее окрашивание кожи из-за накопления сульфидов серебра), а адгезивный слой, прикрепляющий электрод к коже, может вызвать аллергическую реакцию. Гель также в состоянии вызвать аллергию и раздражение кожи, стимулировать рост бактерий. Кожа под слоем клея может вспотеть, что приведет к деградации поверхности и ухудшению обнаружения биоэлектрического сигнала и, соответственно, записи результатов исследования. Поэтому электроды с применением Ag/AgCl плохо подходят для мониторинга показателей сердечной деятельности.

Альтернативой для электродов с применением Ag/AgCl являются сухие электроды, которые позволяют проводить измерения без подготовки кожи и использования медицинского геля. Их основные преимущества заключаются в меньшем сопротивлении и длительной стабильности. Основой сухих электродов могут послужить углеродные материалы (восстановленный оксид графена либо алмазоподобное покрытие). Они могут применяться в составе электродов благодаря их химическим и физическим свойствам, а также простой обработке и относительной дешевизне. Электроды на углеродной основе способны выдерживать «сложные» химические условия микроокружающей среды, обладают высокой прочностью, имеют хорошее сопротивление, электропроводность, теплопроводность. Поверхность электрода на основе углерода легко обрабатывать. Он недорог, выпускается в различных формах

(порошки, композиты, волокна и др.). Кроме того, углеродные материалы могут иметь большую площадь поверхности (графен), чем традиционные металлические. Восстановленный оксид графена демонстрирует превосходную биосовместимость, низкую стоимость обработки и отличную механическую стабильность, которые важны не только для долгосрочного использования, но и для изготовления прочных гибких электродов.

Конструкция электрода сложна, и все его составные части имеют различное качество передачи сигнала. Поэтому для корректной диагностики электрофизиологических отклонений в работе сердца необходимо, чтобы зарегистрированный биосигнал был четким, неискаженным (т. е. не содержал артефактов). Также важно, чтобы электрод не оказывал вред организму обследуемого. Носителями заряда внутри тела пациента являются ионы, а в электронном устройстве – электроны. Механизм переноса заряда имеет место на границе электрод-кожа. Данные факты необходимо учитывать при проектировании оптимального электрода. Электролит на поверхности кожи и сама кожа под электродом создают потенциалы и сопротивления, которые могут искажать регистрируемый биосигнал.

Таким образом, используются различные методы для эффективного уменьшения сопротивления материалов, используемых для биосовместимости электродов. Несмотря на значительные достижения научно-технического прогресса последних лет существуют значимые проблемы в выборе материалов для производства электроники медицинского назначения. Постоянно развивающаяся микроокружающая среда электродов из-за диффузионного обмена подвижных ионных и биохимических частиц в богатых водой тканях подчеркивает различия между биологическими и электронными системами.

Мониторинг ЭКГ без использования медицинского геля является актуальным. Восстановленный оксид графена представляет собой передовой материал, обладающий отличной электропроводностью, химической стабильностью и прочностью. Электроды из восстановленного оксида графена остаются стабильными к агрессивным микроокружающим средам, в которых они могут эксплуатироваться. Также они хорошо гнутся, что говорит об их возможности моделирования поверхности тела человека. Внедрение в систему восстановленного оксида графена гидрогеля позволит получить гибкие и эластичные электроды, которые можно будет использовать инвазивно. Технология лазерного восстановления оксида графена обладает превосходной стабильностью измерений, является недорогой, совместимой с гибкой электроникой и крупномасштабным производством, что стимулирует ее широкое применение в практическом здравоохранении.

Сухие электроды имеют сравнимые характеристики с влажными электродами и быстро развиваются. Однако последние по-прежнему занимают основной рынок, а сухие электроды не получили реального выхода на него из-за множества проблем, которые все еще существуют: обработка регистрируемых сигналов, конструкция схемы, производственный процесс и размер интегрированного устройства. Научный потенциал Института

физиологии НАН Беларуси совместно с исследовательскими и производственными возможностями предприятий Шанхая и Чанчуня позволят разработать и наладить серийное производство современных устройств регистрации электрической активности сердца. Сухие электроды с превосходными характеристиками и более удобным управлением будут играть все более и более важную роль в ежедневном мониторинге биоэлектрических сигналов сердца в различных отраслях здравоохранения.

УПРАВЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННЫМ СОСТОЯНИЕМ ПРИ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКЕ

Девойно О. Г., Пилипчук А. П.

Белорусский национальный технический университет,

Военная академия Республики Беларусь

vikmech@mail.ru

Аннотация. При лазерной обработке в деталях возникают остаточные напряжения, которые достигают значительных величин и в сумме с воздействующим внешним напряжением формируют результирующее напряженное состояние. Управлять величиной, знаком и характером распределения остаточных напряжений можно изменяя режимы лазерной обработки. Обоснована необходимость исследования и выявления закономерностей процесса формирования напряженно-деформированного состояния при лазерной обработке.

摘要。在激光处理过程中，工件中会出现残余应力，这些残压达到相当大的数值，与施加的外部应力一起，形成所产生的应力状态。残压分布的大小、符号和性质可以通过改变激光处理模式来控制。研究和揭示激光加工过程中应力应变状态形成过程的规律性的必要性已经得到证实。

При обработке поверхности высококонцентрированными источниками энергии в результате неравномерного нагрева, высоких скоростей охлаждения зоны обработки и изменения объемов материала вследствие температурного расширения возникают остаточные напряжения. Остаточные напряжения достигают значительных величин и в сумме с воздействующим внешним напряжением формируют результирующее напряженное состояние, являясь причиной образования трещин (рис. 1).