

Разработка программно-аппаратного комплекса для измерения биопотенциалов скелетных мышц.

С.А.Гаврилов и А.С. Кыздарбекова, научный руководитель: к.т.н., доцент С.С. Резников, Санкт-Петербургский национальный исследовательский университет информационных технологий, механики и оптики, Санкт-Петербург.

Введение. В данной работе было проведено исследование метода регистрации потенциала действия в скелетных мышцах и разработан прототип полезной модели программно-аппаратного комплекса для дальнейшей разработки нейрокомпьютерного интерфейса для управления бионическими устройствами.

Целью данной работы является разработка полезной модели программно-аппаратного комплекса для измерения и регистрации биопотенциалов скелетных мышц с учетом возможности дальнейшего применения в портативных бионических устройствах.

Базовые положения. Механизм сокращения скелетных мышц человека описывается в медицинской литературе по нормальной физиологии теорией скользящих нитей. [1,2] Роль функциональной единицы скелетной мускулатуры выполняет нейромоторная, или двигательная, единица, которая включает мотонейрон и группу мышечных волокон, иннервируемых разветвлениями аксона. Мышца возбуждается при появлении сигнала действия (потенциала действия) от иннервирующих мотонейронов. Таким образом, сокращение вызывается потенциалом действия, то есть возбуждением мембраны волокна. При достижении пороговой частоты (не менее 20 Гц) одиночные сокращения сливаются за счет суммации (остаточному напряжению одиночного сокращения) и приводят к состоянию устойчивого сокращения иначе **тетанусу**. [1] Тетанические мышечные сокращения разделяют на 2 типа: зубчатый и гладкий тетанус. Зубчатый тетанус - возникает, когда каждая последующая стимуляция приходится на фазу расслабления. Гладкий тетанус - возникает, когда каждая последующая стимуляция приходится на фазу напряжения мышцы. При гладком тетанусе мышца не расслабляется и в ней поддерживается постоянное напряжение. Потенциал действия может принимать значения в зависимости от группы мышц от 30 до 120 мкВ. В разных группах мышц тетанические сокращения возникают при разных частотах от 20 Гц до 200 Гц. [2]

Методом измерения потенциала действия в скелетных мышцах является метод биоэлектрического исследования – электромиография (ЭМГ). Электромиография бывает поверхностной и инвазивной. [3] Датчики для поверхностной электромиографии разделяют на 3 вида: однофазные, парафазные и электромагнитные. Однофазные датчики измеряют потенциал мышечной активности в измеряемой точке относительно общего провода. Парафазный – измеряет разницу потенциалов между 2-мя точками. Местом крепления общего провода при выполнении определенных условий можно пренебречь. Электромагнитные – измеряют электромагнитное поле на поверхности кожи в точке крепления. Данный тип практически не используется из-за низкой защищенности от естественного электромагнитного фона.

Промежуточные результаты. В рамках исследования для разработки был выбран в первую очередь парафазный тип датчика за счет низкой шумовой составляющей (кросс-токов) в измеренном сигнале. За основу датчика был взят инструментальный усилитель AD8237 от Analog Devises. Данный инструментальный усилитель обладает рядом важных для решаемой задачи характеристик, таких как: диапазон питания от 1,8 В до 5,5 В, низкое значение собственных шумов, низкий температурный дрейф, высокий входной импеданс (800 МОм, 10pF), максимальное усиление в 1000 раз сигнала с частотой до 1 кГц, потребляемый ток до 150 мкА. Целевыми областями применения данной микросхемы являются прецизионные измерения различных сигналов, медицинское оборудование и портативные системы. Для

регистрации измеряемых значений был разработан контроллер с 5 каналами для подключения датчиков и USB интерфейсом для передачи измеренных значений на компьютер. За основу контроллера был взят микроконтроллер STM32f405 с ядром Cortex-M4 от ST Microelectronics. Для формирования опорной средней точки усилителя AD8237 и окончного усиления сигнала был использован операционный усилитель MCP6L от Microchip. Данная микросхема имеет низкий уровень собственных шумов, диапазон питания от 1,8 В до 7 В, диапазон усиления равный диапазону питания и потребляемый ток от 30 до 170 мкА.

Так же, в рамках решаемой задачи было разработано программное обеспечение для микроконтроллера, компьютера и протокол обмена данными по USB интерфейсу между ними. ПО для компьютера обеспечивает управление контроллером и вывод в реальном времени осциллограмм с 5 каналов контроллера.

Основным результатом проведенной работы является разработанный прототип полезной модели программно-аппаратного комплекса для измерения и регистрации биопотенциалов скелетных мышц. Максимальное энергопотребление прототипа не превышает 50 мА при напряжении в 3,2 В.

В дальнейшем, планируется оптимизация схемы, разработка однофазного датчика, реализация журналирования регистрируемых измерений с целью создания ЭМГ-базы выборок для машинного обучения.

Литература

1. Физиология человека: В 3-х томах. Т.1.Пер. с англ./Под ред. Р. Шмидта и Г. Тевса. 2-е изд., доп., -М: Мир, 1996.-323 с., ил. ISBN 5-03-002544-8
2. Физиология человека. Compendium: под ред. Б.И. Ткаченко, 3-е изд., доп., -М: ГЭОТАР-Медиа, 2010.-496 с., ISBN: 978-5-9704-0964-0, 978-5-9704-1540-5
3. Касаткина Л.Ф., Гильванова О.В., Электромиографические методы исследования в диагностике нервно-мышечных заболеваний. Игольчатая электромиография, - М.: Медика, 2010. 416 с.: ил. ISBN: 5984950162, ISBN-13(EAN): 9785984950169