ПРЯМІ НЕЙРОННІ ІНТЕРФЕЙСИ У ВІДНОВЛЕННІ ФУНКЦІЇ КІНЦІВКИ: СУБЕПІНЕВРАЛЬНА РЕЄСТРАЦІЯ АКТИВНОСТІ НЕРВІВ ДЛЯ УПРАВЛІННЯ БІОНІЧНИМИ ПРОТЕЗАМИ

Посохов М Ф., Полях І.О., Овчаренко Н.М., Шатілло А.В.

ДУ «Інститут неврології, психіатрії та наркології ім. П. В. Волошина НАМН України», м. Харків, Україна

Ключові слова: *Біонічне протезування, нейроінтерфейси, інтерфейси периферичних нервів, двонаправлені нейроінтерфейси.*

Вступ. Сучасне біонічне протезування кінцівок суттєво обмежене недоліками традиційного міоелектричного керування, яке спирається на поверхневу електроміографію збережених м'язів. Основними проблемами міоелектричних систем є обмежена кількість незалежних сигналів управління, відсутність природного сенсорного зворотного зв'язку, нестабільність відведення сигналу та залежність від стану кукси. Альтернативним і більш перспективним шляхом є створення прямих периферичних нейронних інтерфейсів, що зчитують моторні команди безпосередньо з ушкоджених периферичних нервів людини.

Мета: оцінити можливість, безпечність та електрофізіологічну інформативність прямої реєстрації біоелектричної активності травмованих периферичних нервів людини за допомогою тимчасово імплантованих субепіневральних електродів під час виконання реальних та уявних рухів.

Матеріали та методи. Дослідження схвалено комісією з біоетики ДУ «ІНПН НАМН України». Досліджено 9 дорослих пацієнтів із травматичними ушкодженнями периферичних нервів та ампутаціями кінцівок. Під час хірургічного втручання під прямим візуальним контролем під епіневрій нерва імплантували дві пари платино-іридієвих мікроелектродів (діаметром 0,01 мм) із міжелектродною відстанню 1,0-2,0 см, які фіксували шовним матеріалом поліглактином 8-0.

Записи проводили протягом 3-5 післяопераційних днів у пацієнтів із виведенням провідників через хірургічну рану. Електроди видаляли шляхом плавної тракції після завершення серії досліджень. Оцифрування здійснювали із частотою дискретизації 8000 Гц або 11 025 Гц за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. Протокол включав реєстрацію спонтанної активності, рухів збереженої кінцівки, уявних рухів у випадку ампутації (із синхронізацією за

візуальними стимулами), а також пілотну електростимуляцію (частота 1-15 Гц, сила струму 0,1-2,0 мА тривалістю 5-20 хв).

Результати. Сформовано стандартизований набір даних із 46 двоканальних записів нервового сигналу. Процедура субепіневральної реєстрації продемонструвала високу електрофізіологічну чутливість: виявлено чітку диференціацію імпульсації під час виконання довільних рухів та їх уявлення. Синхронізована фіксація міток візуальних стимулів дозволила встановити часовий зв'язок між подачею команди та зміною нейронного відгуку.

Процедура тимчасової імплантації та вилучення електродів шляхом тракції була безпечною та не супроводжувалася неврологічними ускладненнями чи додатковим травмуванням нерва. Пілотна електростимуляція через ті ж субепіневральні електроди викликала у пацієнтів чіткі, суб'єктивно приємні сенсорні відчуття у проекційній зоні, що підтверджує потенціал даної конфігурації для побудови двонаправлених інтерфейсів (зчитування моторних команд + передача сенсорного фідбеку). Отриманий набір даних стандартизовано у форматі HDF5 із повними технічними метаданими для відкритого використання.

Висновки. Тимчасова субепіневральна реєстрація активності периферичних нервів людини є безпечним і високоефективним методом прямого отримання нейронних команд для управління біонічними протезами. Сигнали, що зафіксовані під час виконання реальних та уявних рухів у пацієнтів із травматичними ушкодженнями та ампутаціями кінцівок, містять інформативний нейронний відгук, достатній для подальшої розробки й оптимізації алгоритмів декодування рухових намірів. Водночас можливість поєднання субепіневрального зчитування моторних сигналів із пілотною сенсорною електростимуляцією через ті ж самі імплантовані електроди відкриває перспективні шляхи до створення повноцінних двонаправлених біонічних систем відновлення втраченої функції кінцівки.