

Розділ 11.3. ФІЗІОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ МІОКАРДА

Збудливість – відповідати збудженням на дію подразників

Провідність – здатність передавати збудження

Скоротливість – здатність змінювати довжину або напруга кардіоміоцитів

Автоматія – здатність міокарда збуджуватися і скорочуватися під впливом імпульсів, які виникають в провідній системі серця, без дії зовнішніх впливів

Рефрактерність – неможливість збуджених клітин міокарда знову активуватися при виникненні додаткового імпульсу

Клітинна мембрана кардіоміоцитів має багато особливостей, що відрізняють її від скелетного м'яза. Як і в інших збудливих тканинах, її інтегративні білки-канали у випадку відкриття воріт пропускають по градієнту концентрації іони натрію, калію. Крім того, тут є канали, що пропускають іони кальцію і хлору.

У скоротливому міокарді знаходяться швидкі натрієві канали. Їх кінетика в цілому аналогічна іншим збудливим тканинам: нервовій і м'язовій пошмугованій. Проте іони натрію усередину можуть проходити не лише через «свої» швидкі канали, але і разом з кальцієм через так звані повільні канали (Ca-, Na-канали). Повільні канали розташовані як у скоротливому міокарді, так і в елементах провідної системи. Всередину кардіоміоцитів вони пропускають головним чином кальцій, але по них може надходити і натрій. Це забезпечує більш повільний розвиток деполяризації і відновлення збудливості. При заряді мембрани 0 мВ повільні канали стають повністю неактивними. Граничний потенціал повільних каналів знаходиться на більш високому рівні, ніж швидких: у повільних -35 - -40 мВ, а у швидких -55 - -50 мВ.

У мембрані кардіоміоцитів є кілька калієвих каналів. З них найбільш значимі два: швидкий і повільний. Швидкий активується при деполяризації мембрани до -35 мВ. Калієвий канал, що повільно відкривається, активується при підвищенні в цитоплазмі концентрації вільного кальцію.

Іони хлору проходять через канали пасивно. Низький вміст усередині клітини іонів хлору забезпечується їхнім виштовхуванням назовні негативно зарядженими іонами в стані спокою. При виникненні ПД усередині клітини зростає вміст позитивних іонів, що викликає надходження в клітину хлору. Тому внутрішньоклітинний вміст Cl^- залежить від частоти і тривалості ПД. Хлор шунтує внутрішньоклітинний потенціал, впливаючи на рівень потенціалу спокою (ПС). Якщо позаклітинний хлор замінити менш проникним негативним іоном, то це призведе до гіперполяризації мембрани.

У мембрані кардіоміоцитів міститься також багато білків, що виконують функції іонних насосів. Так, наприклад, щільність Na, K-насосів більш ніж у 100 разів перевищує щільність каналів для цих іонів. Тут є велика кількість і Ca-насосів. З їхньою допомогою іони виводяться проти

градієнта концентрації і підтримуються іонні градієнти між внутрішньо- і позаклітинною їх концентрацією. Функція цих білків поєднана з використанням енергії.

ЗБУДЛИВІСТЬ

Збудливість міокарда менша за скелетний м'яз: необхідний сильний подразник.

У потенціалі дії скоротливих кардіоміоцитів виділяють п'ять фаз розвитку. Розмах ПД у міокарді шлуночків дорівнює 120 мВ. Однією з найістотніших відмінностей збудливості міокарда від нервової клітини і скелетного м'яза є дуже тривалий ПД у лівому шлуночку близько 250 мс (а в поспугованому м'язі 1–3 мс).

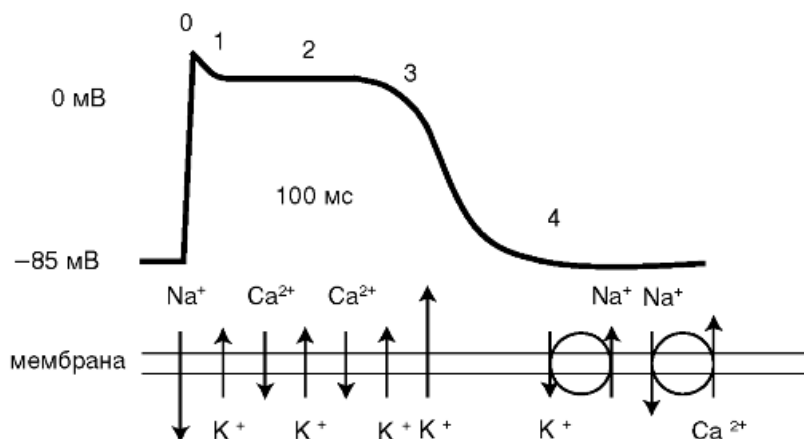


Рис. 1. Потенціал дії кардіоміоцита і трансмембранні іонні потоки (спрощена схема) (Катцунг Б. Г., 1998)

Фаза 0 – швидка деполаризація – внутрішній іонний потік, викликаний відкриттям швидких натрієвих каналів, стає досить великим, щоб подолати зовнішній потік через калієві канали

Фаза 1 – швидка початкова реполаризація – відбувається в результаті інактивації швидких натрієвих каналів і току іонів калію всередину клітини

Фаза 2 – плато – період повільного згасання. Відбувається в основному за рахунок надходження іонів кальцію всередину клітини через повільні кальцієві канали. Також відбувається повільне закриття/інактивація деяких натрієвих каналів

Фаза 3 – кінцева реполаризація – потік іонів кальцію всередину клітини знижується, домінуючим стає потік калію назовні

Фаза 4 – електрична діастола – мембрана переходить у стан спокою. Відновлення мембранного потенціалу

ПРОВІДНІСТЬ

Провідність в серці забезпечується низьким електричним опором щілинновидних контактів (нексусів) між елементами атипічного і робочого міокарда, а також в області вставних пластинок, які поділяють кардіоміоцити

Провідність серцевого м'яза полягає в тому, що хвилі збудження проходять по її волокнам з неоднаковою швидкістю.

По атиповим волокнам провідникової системи – 3-5 м/с

По типовим (скоротливим) волокнам робочого міокарду:

0,8-1,0 м/с – передсердя

0,8-0,9 м/с – шлуночки

СКОРОТЛИВІСТЬ

1. Міокард підпорядковується закону «**все або нічого**»: підпороговий подразник не викликає реакції у відповідь, на порогові та надпорогові подразники амплітуда реакції однакова

2. Міокард не може скорочуватися тетанічно, так як йому не властиве явище сумації, що пов'язано з довгим періодом рефрактерності

3. У серцевого м'яза тривалий період одиночного скорочення (приблизно відповідає тривалості потенціалу дії)

4. У міокарда істотно відрізняється роль позаклітинного кальцію в електромеханічному спряженні. Кальцій, що входить в клітину при потенціалі дії, забезпечує викид кальцію з саркоплазматичного ретикулума, бере участь в деполяризації клітини і збільшує тривалість потенціалу дії кардіоміоцитів, приймає участь в спряженні збудження і скорочення кардіоміоцитів

АВТОМАТІЯ

Характерною рисою міокарда є здатність збуджуватися, а потім і скорочуватися під впливом імпульсів, які виникають у провідній системі. Найбільш характерною відмінністю клітин провідної системи є фактична відсутність у них дійсного потенціалу спокою. Коли реполяризація мембрани закінчується і закриваються калієві канали, у них відразу починається нова хвиля деполяризації. Розвивається вона спонтанно у відсутність дії зовнішнього подразника, що обумовлено характером співвідношення іонних струмів. Мембрана кардіоміоцитів вузлових клітин провідної системи і без надходження подразливого сигналу досить активно пропускає всередину іони Ca^{2+} (і Na^+) через повільні кальцієві канали, що поступово і деполяризують її. При досягненні рівня критичного потенціалу (близько 40 мВ) відкриваються електрозбуджувальні Са-канали, і більш активне надходження кальцію приводить до виникнення ПД. Така властивість іменується пейсмеркерною активністю. ПД, що виник мимовільно у вузлових клітинах, поширюється по волокнах провідної системи до інших відділів серця. Зазначений механізм мимовільного збудження одержав назву автоматизму серця.

Градiєнт автоматії – ступiнь автоматії тим вищий, чим ближче розташована дiлянка до синоатрiального вузла

Передсердний вузол (синоатрiальний) – 60-80 iмп./хв

Передсердно-шлуночковий вузол (атрiовентрикулярний) – 40-50 iмп./хв

Пучок Гіса – 30-40 імп./хв

Волокна Пуркін'є – 20 імп./хв

РЕФРАКТЕРНІСТЬ

Пов'язана з інактивацією швидких натрієвих каналів при тривалій деполяризації. Канали починають відновлюватися після того, як мембрана реполяризується приблизно до -40мВ. Тривалість рефрактерного періоду пов'язана з тривалістю потенціалу дії.

Абсолютна рефрактерність – серце не може збуджуватися при будь-якій силі імпульсу, що надходить до нього. Спостерігається під час фази 2 потенціалу дії.

Відносна рефрактерність – серце зберігає здатність до збудження, якщо амплітуда імпульсу, що надходить до нього, більша, ніж зазвичай. Відповідає фазі 3 потенціалу дії.