

Биомедицинские приборы и системы

УДК 53.088.2: 533.273

Вимірювання парціального тиску кисню в підшкірних тканинах

С.О. Воронов д-р техн. наук, П.О. Івченко

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,
пр-т. Перемоги 37, корпус 1, м. Київ, 03056, Україна.

В статті проводиться аналіз похибок визначення параметрів сенсора кисню (СК). Для цього було відібрано декілька транскутанних сенсорів кисню (ТСК), які пройшли відповідні випробування та показали хороші метрологічні характеристики. Відбір СК проводився після аналізу похибок вимірювання парціального тиску кисню (pO_2) та визначення основних метрологічних характеристик.

Похибки вимірювання pO_2 в підшкірних тканинах поділяються на дві складові: перша, відносна похибка вимірювання самого СК, зумовлена матеріалом сенсора, електролітом та конструкцією; друга, відносна похибка вимірювання pO_2 , зумовлена процесами, які безпосередньо протікають в підшкірних тканинах (співвідношення швидкостей доставки кисню до сенсора та споживанням кисню тканинами).

Проведено аналіз похибок параметрів СК. Дослідження показали, краще використовувати суцільний срібний анод, що підвищує довговічність та надійність роботи сенсора, зменшує відносну похибку вимірювання та покращує стабільність характеристик сенсора. Бібл. 4, рис. 3, табл. 1.

Ключові слова: похибки вимірювання, парціальний тиск кисню, підшкірна тканина, сенсор кисню, конструкція, анод, катод, електроліт.

Вступ

Транскутанний сенсор кисню (ТСК) [3] є єдиним чутливим елементом, який використовується в приладах черезшкірного визначення парціального тиску кисню (pO_2). Конструкція ТСК показана на рис. 1.

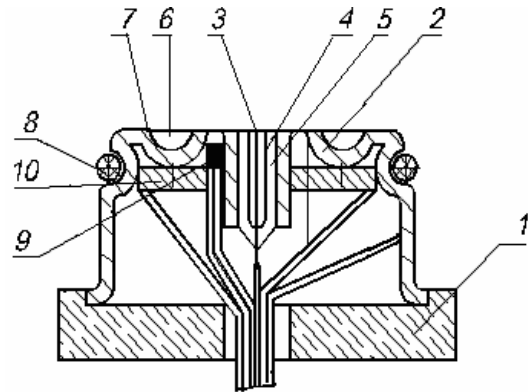


Рис. 1. Конструкція транскутанного сенсора кисню для визначення pO_2 в підшкірних тканинах.

Сенсор кисню (СК) [2] складається з основи 1, срібного анода 2, платинового катоду 3. Анод 2 та катод 3 відділені між собою електричною ізоляцією, яка складається з шару скла 4 та шару композиційного матеріалу 5 на основі фотополімеру. На торцевій частині срібного корпуса сенсора виконано кільцеву канавку 6, призначену для заповнення електролітом і закрити газопроникною поліпропіленовою мембраною 7. Гумове кільце 8 закріплює газопроникну мембрану 7 на аноді 2. Датчик температури 9 має безпосередній тепловий контакт з приосьювою частиною анода 2 та нагрівник 10 – з внутрішньою поверхнею торцевої ділянки анода 2.

При надходженні O_2 через шкіру до ТСК молекули цього газу дифундують через мембрану сенсора та викликають електрохімічну реакцію, яка призводить до протікання струму через катод. Сигнал струму, пропорційний вмісту O_2 у виміряному середовищі, з катода ТСК надходить на вхід підсилювача плати узгодження, де перетворюється в напругу і підсилюється до необхідного рівня.

Постановка задачі

У базовому СК спостерігається недостатня стабільність його роботи в режимі моніторингу та збільшення похибки вимірювання. Метою даного дослідження є визначення нестабільності ТСК в підшкірних тканинах та визначення похибок [1]. Механізм та кінетика електрохімічних процесів в СК, визначають їх метрологічні характеристики [4], які залежать від каталітичної активності катоду, матеріалу аноду, складу електроліту. Тому необхідно проаналізувати характеристики, що впливають на роботу СК.

Основна частина

Дослідження проводили в стандартній електрохімічній комірці з роздільним анодним та катодним простором. Анод закріплювався на мінімальній відстані від катоду. Анод в вигляді срібного дроту розміщувався в відокремленій камері, щоб продукти його електрохімічної реакції не заважали катодній реакції. Вихідні сигнали знімалися амперметром. На рис. 2 представлена залежність в часі вихідних сигналів катоду. Криві 1–5 відповідають стабільності катоду в одному електроліті протягом 5 днів.

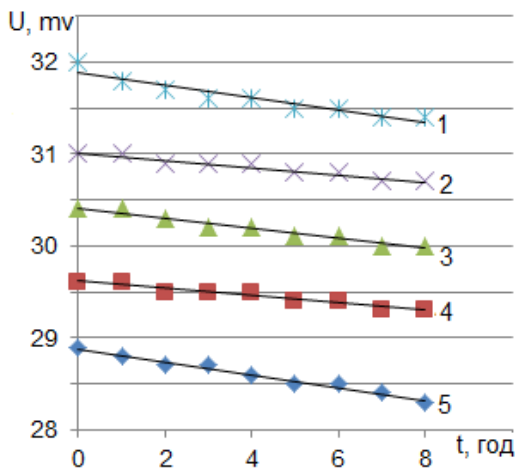


Рис. 2. Залежність в часі вихідних сигналів катоду

Як видно з рисунку 2, вихідні сигнали катоду з часом падають майже по лінійній залежності. Першого дня (крива 1) вихідний сигнал за 8 годин зменшується на 3%, на п'ятий день, за цей же час, вихідний сигнал зменшився на 12%.

Існує залежність метрологічних характеристик від розміру камери електроліту СК. Найкращі характеристики мають сенсори з найменшим розміром. Це пов'язано з тим, що в процесі роботи сенсора в електроліті

встановлюється динамічна рівновага. Чим більший об'єм електроліту, тим кількість розчиненого кисню буде більша та більше часу потрібно для встановлення нової рівноваги при зменшенні вмісту кисню в підшкірних тканинах.

Величина pO_2 визначалася за величиною атмосферного тиску кисню в повітрі за допомогою розробленого макету приладу, в якому була закладена можливість врахування зміни атмосферного тиску в день випробувань, а також температури завдяки термостабілізації сенсорів. Результати досліджень кінетики зміни pO_2 СК за вісім годин роботи в атмосферному повітрі представлені на рис. 3.

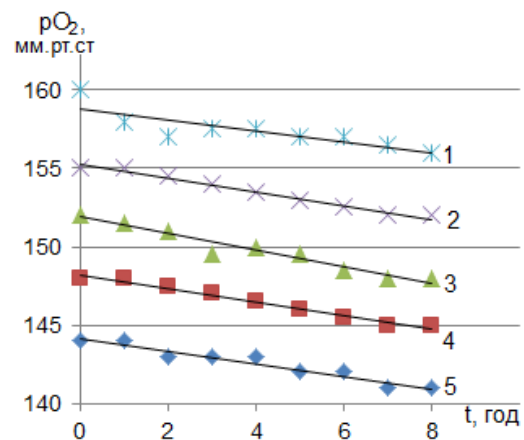


Рис. 3. Залежність pO_2 сенсора кисню від часу роботи в одному електроліті: 1 – крива знята відразу після зарядки сенсора (перший день); 2,3,4,5 – криві залежності зняті в наступні дні, протягом 8 годин кожна

Криві 1–5 відображають вихідний сигнал, знятий при використанні впродовж 5 днів одного електроліту. Як видно з рис. 3, pO_2 з часом падає майже за лінійною залежністю. В перший день вихідний сигнал за 8 годин зменшується на 3%, на п'ятий день вихідний сигнал зменшується на 12%. Аналогічні випробування були проведені для сенсорів СК2, СК3, СК4, СК5.

Для визначення середньостатистичної похибки вимірювання за заданий проміжок часу до макету приладу був підключений вольтметр, до складу якого входить спеціальна програма математичної обробки даних, яка дає можливість з заданою швидкістю визначити максимальне, мінімальне та середнє значення похибки вимірювання.

Результати випробувань сенсорів СК2, СК3, СК4, СК5 представлені в таблиці 1.

Таблиця 1. Результати випробувань сенсорів кисню

Номер сенсора	СК2	СК3	СК4	СК5
Середня відносна похибка вимірювання pO_2 , %	5,9	5,5	6,12	5,9
Мінімальна відносна похибка вимірювання pO_2 , %	0,3	0,1	0,2	0,2
Максимальна відносна похибка вимірювання pO_2 , %	11,6	10,9	12,1	11,6
Зменшення pO_2 на п'ятий день в %	11,5	10,8	12,0	11,5

Як видно з таблиці 1, максимальна відносна похибка вимірювання відповідає зменшенню pO_2 на п'ятий день по відношенню до початкового значення, що логічно так як характер падіння лінійний.

Досліджено вплив конструкції сенсорів кисню для вимірювання вмісту кисню в підшкірних тканинах на метрологічні характеристики. Встановлено: підвищення співвідношення площі аноду до площі катоду до 10 приводить до зменшення похибки вимірювання кисню, а збільшення площі аноду забезпечує рівномірне прогрівання шкіри, що приводить до зменшення похибки вимірювання кисню. Анод має практично постійний потенціал при протіканні струму, який генерується в широкому діапазоні концентрацій кисню. За рахунок високої теплопровідності срібного корпусу підвищується швидкість та покращується однорідність розігріву шкіри, що зменшує похибки вимірювання pO_2 .

Було визначено оптимальний діаметр катоду 300 мкм, при якому власне споживання кисню сенсором не впливає на похибку вимірювання pO_2 в крові пацієнта.

Висновок

Проведено аналіз похибок визначення параметрів сенсора кисню. Проведені дослідження показали, що в модельних системах на катоді спостерігається падіння чутливості сенсора по відношенню до кисню в

часі. В ході виконання роботи було встановлено, що доцільно використовувати суцільний срібний анод, що підвищує надійність та довговічність роботи ТСК та покращує стабільність роботи сенсора. Стабільність роботи СК визначався як відсоток відхилення показників pO_2 від початкових значень через кожні 8 годин.

Література

1. *Воронов С.О., Івченко П.О.* Аналіз похибок визначення параметрів транскутанного сенсора кисню // Збірник тез доповідей XII Міжнародної науково-технічної конференції ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи. – м. Київ, ПБФ, НТУУ "КПІ". – 2013.- С. 196 – 197.
2. *Воронов С.О., Котовський В.Й., Голець П.О.* Сенсор для вимірювання парціального тиску кисню в підшкірних тканинах // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2011. – Вип. 41. – С. 125 – 130.
3. *Голець П.О.* Дослідження характеристик транскутанних сенсорів кисню // Матеріали II міжнародної конференції «Біомедична інженерія і технологія»: зб. матеріалів. – К.: НТУУ "КПІ". – 2011.- С. 34-35.
4. *Котовський В.Й., Івченко П.О., Ройтман Е.М., Довженко О.П.* Визначення й аналіз метрологічних характеристик сенсора кисню // Міжнародний науково-технічний журнал «Наукові вісті». – №5 (85) – Київ – 2012 – с. 109 – 113.

УДК 53.088.2: 533.273

Измерение парциального давления кислорода в подкожных тканях

С.А. Воронов, д-р техн. наук, **П.А. Ивченко**

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»,
пр-т. Победы 37, корпус 1, г. Киев, 03056, Украина.

В статье проводится анализ погрешностей определения параметров сенсора кислорода (СК). Для этого были отобраны несколько транскутанного сенсоров кислорода (ТСК), которые прошли соответствующие испытания и показали хорошие метрологические характеристики. Отбор СК проводился после анализа погрешностей измерения парциального давления кислорода (pO_2) и определения основных метрологических характеристик.

Погрешности измерения pO_2 в подкожных тканях делятся на две составляющие: первая, относительная погрешность измерения самого СК, обусловленная материалом сенсора, электролитом и конструкцией, вторая, относительная погрешность измерения pO_2 , обусловленная процессами, непосредственно протекающими в подкожных тканях (соотношение скоростей доставки кислорода к сенсору и потреблением кислорода тканями).

Проведен анализ погрешностей параметров СК. Исследования показали, лучше использовать сплошной серебряный анод, повышает долговечность и надежность работы сенсора, уменьшает относительную погрешность измерения и улучшает стабильность характеристик сенсора. Бібл. 4, рис. 3, табл. 1.

Ключевые слова: погрешность измерения, парциальное давление кислорода, подкожная ткань, сенсор кислорода, конструкция, анод, катод, электролит.

UDC 53.088.2: 533.273

Measurement of oxygen partial pressure in subcutaneous tissues

S.O. Voronov, Dr.Sc., **P.O. Ivchenko**

National Technical University of Ukraine "Kyiv Polytechnic Institute",
Prospect Peremogi 37, Block 1, Kyiv, 03056, Ukraine.

In the article an analysis of errors in determining the parameters of the oxygen sensor (OS) was conducted. Some transcutaneous oxygen sensors (TOS), which have been tested and shown good metrological characteristics were taken. Selection of OS was conducted after analysis of measurement errors of oxygen partial pressure (pO_2) and the definition of basic metrological characteristics.

Errors of pO_2 measurement error in the subcutaneous tissues are divided into two components: the first, relative error of OS measurement is caused by the sensor material, electrolyte and structure; the second, relative error of pO_2 measurement is caused by processes that occur directly in subcutaneous tissues (ratio of rates of oxygen delivery to sensor and consumption of oxygen by tissues).

The analysis of OS parameters errors is conducted. Researches have shown better use of solid silver anode, which increases the durability and reliability of the sensor work, reduces the relative error of measurement and improves the stability of sensor characteristics. Ref. 4, fig. 3, tab 1.

Keywords: measurement errors, partial pressure of oxygen, subcutaneous tissue, oxygen sensor, design, anode, cathode, electrolyte.

References

1. *Voronov S.O., Ivchenko P.O.* (2013), "Analysis of errors of determining the parameters transcutaneous oxygen sensor". Zbirnik tez dopovidey XII Mizhnarodnoi naukovo-tehnichnoi konferencii PRULODOBUDYVANNYA: stan i perspektivu. m. Kyiv, PBF, NTUU"KPI". pp. 196 – 197.
2. *Voronov S.O., Kotovskiy V. Io, Golec P.O.* (2011), "Sensor to measure the partial pressure of oxygen in the subcutaneous tissues". Vishuk NTUU"KPI". Seriya prulodobudyvannya. Vol. 41. pp. 125 – 130.
3. *Golec P.O.* (2011), "Study characteristics of transcutaneous oxygen sensors". Materialy II Mizhnarodnoi konferencii "Biomedychna ingeneriya i tehnologiya": zb. Materialiv. K.: NTUU"KPI". pp. 34-35.
4. *Kotovskiy V. Io, Ivchenko P.O., Rojzman E.M., Dovjenko O.P.* (2012), "Definition and analysis of metrological characteristics of oxygen sensor". Mizhnarodnyi naukovo-tehnichnyi zhurnal «Naukovi visti». Vol. 5 (85), Kyiv, pp. 109 – 113.

Поступила в редакцию 26 апреля 2013 г.