

СТАН ВЕГЕТАТИВНОЇ РЕГУЛЯЦІЇ СЕРЦЕВОГО РИТМУ ПРИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ЦУКРОВОМУ ДІАБЕТИ

СТАН ВЕГЕТАТИВНОЇ РЕГУЛЯЦІЇ СЕРЦЕВОГО РИТМУ ПРИ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМУ ЦУКРОВОМУ ДІАБЕТИ – В експерименті на щурах з модельованим цукровим діабетом проведено дослідження змін вегетативної регуляції серцевого ритму залежно від ступеня гіперглікемії. Результати проведеного дослідження вказують на вегетативний дисбаланс з переважанням симпатикотонічних впливів на регуляцію серцевої діяльності. Поглиблення декомпенсації вуглеводного обміну в щурів з алоксановим цукровим діабетом призводить до поступового послаблення активності парасимпатичної ланки та посилення симпатичної ланки автономної нервової системи.

СОСТОЯНИЕ ВЕГЕТАТИВНОЙ РЕГУЛЯЦИИ СЕРДЕЧНОГО РИТМА ПРИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОМ САХАРНОМ ДИАБЕТЕ – В эксперименте на крысах с моделируемым сахарным диабетом проведено исследование изменений вегетативной регуляции сердечного ритма в зависимости от степени гипергликемии. Результаты проведенного исследования указывают на вегетативный дисбаланс с преобладанием симпатикотонических воздействий на регуляцию сердечной деятельности. Углубление декомпенсации углеводного обмена у крыс с алоксановым сахарным диабетом приводит к постепенному ослаблению активности парасимпатического звена и усилению симпатического звена автономной нервной системы.

STATE OF THE VEGETATIVE REGULATION OF HEART RATE AT EXPERIMENTAL DIABETES MELLITUS – In the experiment on rats with simulated diabetes mellitus, changes in the vegetative regulation of heart rate were evaluated, along with their dependence on the degree of hyperglycemia. Results of the study revealed the vegetative imbalance with predominance of sympathicotonic effects on cardiovascular regulation. Worsening of decompensation of carbohydrate metabolism of rats with aloksan-induced diabetes mellitus leads to gradual decrease of the parasympathetic activity of autonomic nervous system and an increase in sympathetic activity.

Ключові слова: експериментальний цукровий діабет, вегетативна регуляція серцевого ритму, діабетична автономна нейропатія серця.

Ключевые слова: экспериментальный сахарный диабет, вегетативная регуляция сердечного ритма, диабетическая автономная нейропатия сердца.

Key words: experimental diabetes mellitus, vegetative regulation of heart rate, diabetic cardiac autonomic neuropathy.

ВСТУП Актуальність проблеми цукрового діабету (ЦД) зумовлена не лише поширеністю, але й тим, що він є базою для виникнення складних супутніх захворювань та ускладнень, ранньої інвалідності та смертності [1–3]. Рання інвалідність та смертність хворих на ЦД спричинена розвитком різноманітних серцево-судинних ускладнень. Безумовно, що провідне місце серед змін з боку серцево-судинної системи у хворих на ЦД займає патологія серця.

Згідно з сучасними уявленнями, одним із патогенетичних механізмів ураження серця при ЦД є розвиток діабетичної автономної нейропатії серця (ДАНС), яка клінічно проявляється постуральною гіпотензією, тахікардією, безбольовим інфарктом міокарда [4].

ДАНС є одним з клінічних проявів діабетичної вегетативної нейропатії, виникає внаслідок порушення симпатичної та парасимпатичної іннервації.

Метою роботи стало дослідити особливості вегетативної регуляції серцевої діяльності щурів при експериментальному цукровому діабеті залежно від ступеня гіперглікемії.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ Дослідження проведено на 65 білих щурах-самцях з середньою масою (174,4±1,8) г, у яких експериментальний ЦД моделювали шляхом інтраперитонеального одноразового введення алоксану в дозі 150 мг/кг маси тіла тримісячним тваринам. Групу контролю склали 15 білих щурів-самців з середньою масою (175,5±2,5) г того ж віку. Усіх тварин з експериментальним ЦД, залежно від рівня глікемії, поділено на три групи. Першу групу склали 24 тварини з легким ЦД, рівень глікемії в яких коливався від 7 до 12 ммоль/л. У другу групу відібрано 18 тварин з рівнем глікемії від 12 до 18 ммоль/л. У третю групу увійшло 23 тварин з тяжким перебігом ЦД та рівнем глікемії більше 18 ммоль/л [5]. Особливо виділено четверту групу тварин з наявністю кетоацидозу, в яку відібрано 23 щурів з позитивною реакцією на наявність кетонів у сечі.

Для оцінки функціонального стану парасимпатичного і симпатичного відділів автономної нервової системи (АНС) ми використали варіаційну кардіоінтервалометрію. Аналізували 100 послідовно розташованих інтервалів R-R. Така кількість їх вважається достатньою, щоб визначити наступні параметри [6]: М, мс; ΔХ, мс; Мо – моду, мс; АМо – амплітуду моди, %. Використовуючи значення ΔХ, Мо і АМо, обчислювали комплексні показники (ум. од.): показник вегетативного балансу (ПВБ), вегетативний показник ритму (ВПР), показник адекватності процесів регуляції (ПАПР), індекс напруження регуляторних систем (ІН).

Цифровий матеріал оброблено статистично методом варіаційної статистики шляхом обчислення середнього арифметичного значення та його похибки (M±m), критерію Стьюдента (t), рівня значимості (p) за допомогою програми електронних таблиць “Excel” версії 2003 року корпорації Microsoft.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ

Як видно з таблиці 1, в умовах експериментального ЦД у тварин дослідної групи має місце достовірне зменшення інтервалу R-R, порівняно з групою контролю та між групами зокрема, тобто із збільшенням рівня глікемії достовірно зменшується тривалість R-R, що є відображенням розвитку синусової тахікардії.

Наступним нашим завданням було з'ясувати загальні закономірності порушень інтенсивності адренергічно-холінергічних регуляторних впливів на синусно-передсердний вузол (СПВ). Показник варіаційного розмаху (ΔХ) характеризує надійність та адаптаційні можливості функціонування системи “си-

Таблиця 1. Результати математичного аналізу серцевого ритму при експериментальному цукровому діабеті порівняно з контролем ($M \pm m$)

Група тварин	Показник			
	R-R, мс	ΔX , мс	Mo, мс	AMo, мс
Контрольна (n=15)	136,48±1,08	11,20±0,08	135,03±1,08	42,83±0,24
Перша (n=24)	132,90±0,68 $p_k < 0,05$ $p_2 < 0,05$ $p_3 < 0,05$ $p_4 < 0,05$	8,91±0,08 $p_k < 0,001$ $p_2 > 0,05$ $p_3 < 0,05$ $p_4 < 0,05$	130,38±0,68 $p_k < 0,05$ $p_2 < 0,05$ $p_3 < 0,05$ $p_4 < 0,05$	53,63±0,36 $p_k < 0,001$ $p_2 > 0,05$ $p_3 < 0,05$ $p_4 < 0,05$
Друга (n=18)	129,90±0,71 $p_k < 0,001$ $p_1 < 0,05$ $p_3 < 0,05$ $p_4 < 0,05$	8,68±0,10 $p_k < 0,001$ $p_1 > 0,05$ $p_3 > 0,05$ $p_4 > 0,05$	127,48±0,70 $p_k < 0,001$ $p_1 > 0,05$ $p_3 < 0,05$ $p_4 < 0,05$	52,84±0,37 $p_k < 0,001$ $p_1 > 0,05$ $p_3 > 0,05$ $p_4 > 0,05$
Третя (n=23)	127,69±0,67 $p_k < 0,001$ $p_1 < 0,001$ $p_2 < 0,05$ $p_4 > 0,05$	8,38±0,07 $p_k < 0,001$ $p_1 < 0,05$ $p_2 > 0,05$ $p_4 > 0,05$	125,20±0,68 $p_k < 0,001$ $p_1 < 0,001$ $p_2 < 0,05$ $p_4 > 0,05$	51,81±0,35 $p_k < 0,001$ $p_1 < 0,05$ $p_2 > 0,05$ $p_4 > 0,05$
Четверта (n=23)	127,64±0,68 $p_k < 0,001$ $p_1 < 0,001$ $p_2 < 0,05$ $p_3 > 0,05$	8,46±0,07 $p_k < 0,001$ $p_1 < 0,001$ $p_2 > 0,05$ $p_3 > 0,05$	125,13±0,66 $p_k < 0,001$ $p_1 < 0,001$ $p_2 < 0,05$ $p_3 > 0,05$	52,11±0,33 $p_k < 0,001$ $p_1 < 0,05$ $p_2 > 0,05$ $p_3 > 0,05$

- Примітки: 1. p_k – достовірність між показниками порівняно з контролем;
 2. p_1 – достовірність між показниками порівняно з першою групою;
 3. p_2 – достовірність між показниками порівняно з другою групою;
 4. p_3 – достовірність між показниками порівняно з третьою групою;
 5. p_4 – достовірність між показниками порівняно з четвертою групою.

нусно-передсердний вузол – блукаючий нерв”, тобто за показником ΔX можна оцінити ефективність холінергічних впливів на серцевий ритм.

У тварин з експериментальним ЦД в усіх групах спостереження відмічено зменшення показника ΔX , порівняно з контролем, що свідчить про послаблення вагусних впливів на серцеву діяльність. У третій та четвертій групах тварин також має місце достовірний різниця досліджуваного показника порівняно з першою групою тварин. У другій групі щурів різниця між показником ΔX першої, третьої та четвертої груп відсутня. Тобто має місце зменшення діапазону коливань інтервалів R-R із збільшенням ступеня тяжкості експериментального ЦД, що можна розглядати як зменшення пристосувальних резервів серця [7].

Показник Mo – це значення інтервалу R-R, що найчастіше зустрічається та характеризує гуморальний канал регуляції ритму серця за рахунок адренергічних впливів на СПВ [6]. Аналіз показника Mo показав його прогресивне зменшення із наростанням гіперглікемії. Відмічено достовірну різницю даного показника в усіх групах порівняно з контролем. Також має місце достовірний різниця між показником Mo в усіх досліджуваних групах, окрім третьої і четвертої груп між собою, котрі, практично не різняться між собою за рівнем гіперглікемії. Це відображає посилення адренергічних впливів на активність СПВ із поглибленням ступеня декомпенсації метаболічних порушень.

Показник AMo відображає відносну кількість інтервалів R-R, що визначають Mo, та вказує на активність центрального контуру регуляції ритму серця, який здійснює свої впливи через симпатичні нерви, тобто характеризує активність симпатичного відділу АНС [6–

10]. Як видно з таблиці 1, в усіх досліджуваних групах має місце достовірне збільшення AMo порівняно з контролем. Разом із тим, аналіз AMo у досліджуваних групах виявив тенденцію до поступового зменшення показника із поглибленням ступеня тяжкості експериментального ЦД.

Ми також проаналізували комплексні показники: показник вегетативного балансу (ПВБ), вегетативний показник ритму (ВПР), показник адекватності процесів регуляції (ПАПР) та індекс напруженості (ІН), що всебічно характеризують вегетативну регуляцію серця в нормі й патології та дозволяють кількісно співставити напруженість холінергічних і адренергічних регуляторних процесів [10]. Дані представлені в таблиці 2.

Відмічено достовірне збільшення показника ВПР у досліджуваних групах, порівняно з контролем, а також достовірні відмінності цього показника між групами із різними ступенями тяжкості експериментального ЦД, що свідчить про послаблення вагусних впливів на серцеву діяльність [7] при наростанні гіперглікемії і підтверджує виявлену вище закономірність.

Показник вегетативного балансу вказує на співвідношення між активністю симпатичного і парасимпатичного відділів: при переважанні парасимпатичних впливів зменшується, а при переважанні симпатичного відділу – збільшується [7]. У нашому дослідженні ПВБ достовірно збільшився в усіх досліджуваних групах, порівняно з контролем, що також свідчить про переважання адренергічного компонента регуляції АНС над холінергічним. Статистичний аналіз ПВБ груп із різними ступенями тяжкості ЦД між собою показав лише тенденцію до його збільшення із поглибленням ступеня тяжкості експериментального ЦД.

Таблиця 2. Показники вегетативної регуляції синусового ритму в щурів з експериментальним цукровим діабетом порівняно з контролем ($M \pm m$)

Група тварин	Показник			
	ПВБ	ВПР	ПАПР	ІН
Контрольна (n=15)	3,82±0,02	0,66±0,01	0,311±0,002	0,0148±0,0002
Перша (n=24)	6,04±0,06 $p_k < 0,001$ $p_2 > 0,05$ $p_3 > 0,05$ $p_4 > 0,05$	0,86±0,01 $p_k < 0,001$ $p_2 < 0,05$ $p_3 < 0,05$ $p_4 < 0,001$	0,412±0,001 $p_k < 0,001$ $p_2 > 0,05$ $p_3 > 0,05$ $p_4 < 0,05$	0,0234±0,0002 $p_k < 0,001$ $p_2 > 0,05$ $p_3 < 0,05$ $p_4 < 0,05$
Друга (n=18)	6,09±0,06 $p_k < 0,001$ $p_1 > 0,05$ $p_3 > 0,05$ $p_4 > 0,05$	0,91±0,01 $p_k < 0,001$ $p_1 < 0,05$ $p_3 < 0,05$ $p_4 < 0,05$	0,414±0,001 $p_k < 0,001$ $p_1 > 0,05$ $p_3 > 0,05$ $p_4 > 0,05$	0,0242±0,0003 $p_k < 0,001$ $p_1 > 0,05$ $p_3 > 0,05$ $p_4 > 0,05$
Третя (n=23)	6,14±0,06 $p_k < 0,001$ $p_1 > 0,05$ $p_2 > 0,05$ $p_4 > 0,05$	0,95±0,01 $p_k < 0,001$ $p_1 < 0,05$ $p_2 < 0,05$ $p_4 > 0,05$	0,414±0,002 $p_k < 0,001$ $p_1 > 0,05$ $p_2 > 0,05$ $p_4 > 0,05$	0,0257±0,0002 $p_k < 0,001$ $p_1 < 0,05$ $p_2 > 0,05$ $p_4 > 0,05$
Четверта (n=23)	6,18±0,06 $p_k < 0,001$ $p_1 > 0,05$ $p_2 > 0,05$ $p_3 > 0,05$	0,95±0,01 $p_k < 0,001$ $p_1 < 0,05$ $p_2 < 0,05$ $p_3 > 0,05$	0,417 ± 0,001 $p_k < 0,001$ $p_1 < 0,05$ $p_2 > 0,05$ $p_3 > 0,05$	0,0258 ± 0,0002 $p_k < 0,001$ $p_1 < 0,05$ $p_2 > 0,05$ $p_3 > 0,05$

Примітки: 1. p_k – достовірність між показниками порівняно з контролем;
2. p_1 – достовірність між показниками порівняно з першою групою;
3. p_2 – достовірність між показниками порівняно з другою групою;
4. p_3 – достовірність між показниками порівняно з третьою групою;
5. p_4 – достовірність між показниками порівняно з четвертою групою.

Інформативним показником, що характеризує роль симпатичних впливів на функціонування СПВ, вважається ПАПР, зміна якого вказує на шлях реалізації центрального стимулювання серцевого ритму – нервовий чи гуморальний [10]. У нашому дослідженні має місце достовірне збільшення ПАПР у досліджуваних групах, порівняно з контролем, що відображає збільшення ролі симпатичних впливів на функціонування СПВ. Аналіз ПАПР в досліджуваних групах показав лише достовірне збільшення даного показника у групі з кетоацидозом, порівняно з першою групою, хоча відмічено тенденцію до наростання показника ПАПР у тварин з діабетом із збільшенням рівня гіперглікемії. Відсутність достовірної різниці між групами тварин з різними ступенями тяжкості ЦД зумовлено деяким зменшенням АМо із поглибленням тяжкості експериментального ЦД і свідчить про переважання гуморального шляху реалізації центрального стимулювання серцевого ритму.

Ще одним розрахунковим показником вегетативної регуляції синусового ритму є ІН, котрий характеризує ступінь напруження регуляторних механізмів організму [7]. Як видно з таблиці 2, має місце достовірне збільшення ІН в усіх групах тварин з експериментальним ЦД порівняно з контролем. Аналіз ІН у групах тварин із різними ступенями тяжкості ЦД показав достовірне його збільшення в третій і четвертій групах порівняно з першою. Зростання ІН свідчить про напруження регуляторних механізмів організму із збільшенням тяжкості експериментального ЦД.

На підставі комплексного аналізу показників КІМ встановлено, що у щурів з алоксановим ЦД, порівняно з інтактними, виникає вегетативний дисбаланс у

бік симпатикотонії. З поглибленням ступеня тяжкості експериментального ЦД прогресивно слабнуть вагусні впливи на серце (про що свідчить достовірне зменшення ΔX та збільшення ВПР) та наростають симпатoadреналові впливи (поступово збільшуються АМо, ПАПР, ПВБ та зменшується Мо) і посилюється напруження регуляторних механізмів (достовірно прогресивно збільшується ІН).

ВИСНОВКИ 1. При експериментальному цукровому діабеті має місце вегетативний дисбаланс з переважанням симпатикотонічних впливів на регуляцію серцевої діяльності.

2. З поглибленням декомпенсації вуглеводного обміну в щурів з алоксановим цукровим діабетом спостерігається поступове послаблення активності парасимпатичної ланки та посилення симпатичної ланки АНС.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- Боднар П. М. Актуальні питання діагностики та лікування цукрового діабету / П. М. Боднар, Г. П. Михальчишин // Мистецтво лікування. – 2003. – № 1. – С. 51–57.
- American Diabetes Association Standards of Medical Care in Diabetes // Diabetes Care. – 2005. – № 28 (suppl. 1). – Р. 4–36.
- American Diabetes Association Clinical Practice Recommendations // Diabetes Care. – 2001. – № 24 (suppl. 1). – Р. 120–131.
- Ефимов А. С. Диабетическое поражение внутренних органов. Поражение сердца и дыхательной системы. (Лекция. Часть 1) / А. С. Ефимов, А. В. Щербак // Лікарська справа. – 1994. – № 3–4. – С. 14–24.
- Зміни кровообігу при гострій ішемії міокарда у собак з експериментальним цукровим діабетом / О. П. Неццет, І. В. Шепеленко, Н. В. Охріменко [та ін.] // Фізіологічний журнал. – 1997. – Т. 43, № 1–2. – С. 70–77.

6. Колодийчук Е. В. Показатели кардио-интервалограммы у крыс в зависимости от пола и фазы астрального цикла / Е. В. Колодийчук, Е. Н. Макушкина, Э. Б. Арушанян // Физиологический журнал им. И. М. Сеченова. – 1991. – Т.77, №11. – С. 60–63.
7. Баевский Р. М. Матеметический анализ изменений сердечного ритма при стрессе / Р. М. Баевский, О. И. Кирилов, С. З. Клецкин. – М. : Наука, 1984. – 221 с.
8. Аракелянц А. А. Поражение сердца при сахарном диабете / А. А. Аракелянц, С. Г. Горохова // Рос. кардиологический журнал. – 2004. – № 1. – С. 80–86.
9. Аритмии сердца. Механизмы, диагностика, лечение: в 3 т.; пер. с англ. под ред. В. Дж. Манзела. – М. : Медицина. – 1996. – Т.1. – С. 419–452.
10. Баевский Р. М. Вариабельность сердечного ритма: теоретические аспекты и возможности клинического применения / Р. М. Баевский, Г. Г. Иванов // Ультразвуковая и функциональная диагностика. – 2001. – № 3. – С. 108–127.

Отримано 23.11.12

ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ СВИНЦЮ ЗІ ШКІРОЮ ЛЮДИНИ

ОСОБЛИВОСТІ ВЗАЄМОДІЇ СВИНЦЮ ЗІ ШКІРОЮ ЛЮДИНИ – Встановлено, що при контамінації шкіри рук свинцем робітників, які працюють з цим металом, утворюються і затримуються на поверхні шкіри мікрочастинки свинцю зі значною кількістю у них частинок нанорозмірів.

ОСОБЕННОСТИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СВИНЦА С КОЖЕЙ ЧЕЛОВЕКА – Установлено, что при контаминации кожи рук свинцом рабочих, которые работают с этим металлом, образуются и задерживаются на поверхности кожи микрочастицы свинца со значительным количеством в них частиц наноразмеров.

PECULIARITIES OF INTERACTION OF LEAD WITH HUMAN SKIN – It was established that at the contamination of the hanoes skin with lead by workers who work with this metal, there are formed and retained on the skin surface the microparticles of lead with a large number of nanoscale particles, in them.

Ключові слова: свинець, мікрочастинки свинцю, наночастинки.

Ключевые слова: свинец, микрочастицы свинца, наночастицы.

Key words: lead, lead microparticles, nanoparticles.

ВСТУП Свинець є одним із найтоксичніших металів і його включили у список пріоритетних забруднювачів ряд міжнародних організацій, у тому числі й ВООЗ.

Однією з особливостей свинцю, як металу, є його висока здатність до процесу дезінтеграції при незначних механічних навантаженнях на його поверхню, а отже, до значної контамінації навколишнього середовища. Враховуючи його високу токсичність, часте застосування як у промисловості, так і в побуті, є ймовірність потрапляння свинцю в організм людини. Якщо взяти до уваги часте нехтування населенням засобами індивідуального захисту, або їх некоректне застосування на виробництві, й тим більше у побуті, то існує значна загроза нанесення шкоди здоров'ю особами, які з ним контактують.

Відомо, що одним із способів утворення наночастинок є механічний спосіб [4]. Отже, слід очікувати, що при контакті свинцю зі шкірою людини можуть утворюватись частинки не лише мікро-, але й нанорозмірів. У свою чергу, існує висока ймовірність проникнення останніх через шкіру в організм людини. Однак цей процес сьогодні ще недостатньо вивчено. Відомо, що зменшення розміру частинок твердих тіл призводить до істотної зміни їх фізико-хімічних властивостей [3]. Наночастинки металів, зокрема свинцю, розміром менше 10 нм є системами, що володіють надлишковою енергією і високою хімічною активністю. Дещо інші процеси відбуваються з наночастинами розміром близько 1 нм. Вони практично не мають високої енергії активації і тому перш за все вступають у процес агрегації, що призводить до утворення мікрочастинок металів, і вже в такому вигляді вступають у реакцію з іншими хімічними сполуками [5]. Таким чином, розміри частинок суттєво впливають на характер їх взаємодії з поверхнями біологічних об'єктів, з якими вони контактують.

Метою дослідження було з'ясувати можливість потрапляння свинцю в організм людини через шкіру, а також встановити, за яких обставин цей механізм проникнення може бути найефективнішим.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ Проведено 18 досліджень щодо здатності свинцю до дезінтеграції та утворення мікрочастинок і наночастинок при взаємодії з іншими речовинами. Виконано 37 досліджень щодо здатності свинцю забруднювати поверхню шкіри людини та проникати в її глибокі шари. Дослідження дисперсного складу суспензії проводили за допомогою приладу “Analysette 12 Dyna Sizer”, а також відповідно до методів визначення фізико-хімічних властивостей промислового пилу [1]. Результати досліджень аналізували за допомогою методів математичної статистики, реалізованих у програмних пакетах SPSS 10, Statistica 6.0.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ ОБГОВОРЕННЯ Ми провели дослідження щодо можливості утворення частинок різних розмірів, у тому числі й наночастинок при слабкій механічній взаємодії поверхні свинцевих тіл з поверхнями інших матеріалів зі слабкими абразивними властивостями. Для цього свинцеві кульки розміром до 2 мм помістили у контейнери з кухонною сіллю і високим ступенем дисперсності. Величина розмірів частинок диспергованої солі не перевищувала 100 мкм. Середній розмір складав $M = (12,7 \pm 2,43)$ мкм. Після тривалого перемішування цих сумішей, аж до зміни забарвлення солі, до неї було додано дистильовану воду. Перемішували до повного розчинення солі. При проведенні оптичної мікроскопії було встановлено, що у досліджуваних рідинах спостерігають частинки різних розмірів, однак їх максимальні розміри не перевищують 70–90 мкм.

У подальшому було проведено центрифугування розчинів на центрифугі. Згідно з розрахунками, проведеними за формулою $ds = \sqrt{18} \times 10^7 nH / (Pm - Pg) \times g$ [1], у розчині солі з питомою вагою 1400 кг/м³ у посудині на висоті 50 мм від поверхні колоїдного розчину при його центрифугуванні протягом 60 хв з відцентровою силою 6,7 g повинні знаходитись частинки свинцю розміром не більше 0,6 мкм. Проведені експериментальні дослідження підтвердили попередні розрахунки. У відібраних за вказаних умов пробах методами оптичної мікроскопії при збільшенні у 1080 разів частинки свинцю, які можна було би візуалізувати (тобто більше 0,5 мкм), не було виявлено. Разом з тим, при проходженні через цю фракцію суспензії розчину монохромного лазерного променя з довжиною хвилі 625–740 нм було зареєстровано утворення конуса Тіндаля, що характерно для колоїдних розчинів з дисперсністю частинок у нанодіапазоні. Діаметр основи конуса Тіндаля, який спостерігали на екрані при проходженні через розчин лазерного променя, виявився в $(1,7 \pm 0,34)$ раза більший, ніж при його проходженні через контрольний розчин ($p < 0,005$). Це дозволило припустити, що у розчині можуть бути наявні частинки нанорозмірів.