

Корисна модель належить до експериментальної біології та медицини і може бути використана для симуляції та аналізу процесів заморожування-відтавання *in vitro* для прогнозування обсягу заморожування під час кріодеструкції біологічних тканин *in vivo*.

Як допоміжний метод топічної діагностики доброякісних і злоякісних новоутворень шкіри можна використовувати інфрачервону термографію (ІЧТ). Визначення типу патологічної тканини за результатами гістологічного дослідження дозволяє оцінити критичну (летальну) температуру, достатню для первинного некрозу. Необхідний моніторинг процесу кріодеструкції повинен включати оцінку руху фронту заморожування (контроль миттєвого об'єму та форми замороженої зони) та контроль динаміки температурного поля як усередині замороженої зони (контроль меж зони первинного некрозу), так і поза нею (контроль безпеки прилеглих тканин).

ІЧТ - дистанційний, дешевий і неінвазивний метод. Високі технічні характеристики тепловізорів: температурна чутливість (соті частки градуса), просторова роздільна здатність (частки мілірадіана), частота (десятки герц) та багатофункціональне програмне забезпечення дозволяють з високою точністю вимірювати та аналізувати температурні поля та їх швидкі зміни.

Відомий лабораторний комплекс для дослідження розвитку льодяних куль в біологічних тканинах в процесі кріозаморожування [Chua KJ. Fundamental experiments and numerical investigation of cryo-freezing incorporating vascular network with enhanced nano-freezing. International journal of Thermal Sciences. 2013; 70: 17-31], який містить термографічну камеру високої роздільної здатності Vario CAM (виробництва InfraTec GmbH, Німеччина); желатиновий фантом, що складеться з 1 % желатину та 99 % води за вагою для імітації біологічної тканини в прозорій акриловій контейнерній коробці (150 мм × 150 мм × 98 мм); для моделювання великої кровоносної судини використовують тефлонову трубку з зовнішнім діаметром 2,0 мм та внутрішнім діаметром 1,6 мм, водяну баню, кріозонди, термопари.

Недоліком відомого пристрою є асиметричність нагріву та охолодження желатинового фантому, що не дозволяє відтворити умови, близькі до реальних умов. Крім того, термографічна камера може визначати температуру в діапазоні від -40 °С до 120 °С. Це не дозволяє вимірювати температурні поля при роботі з температурами нижче ніж -40 °С, тобто за умов низькотемпературного впливу.

Відомий лабораторний комплекс для оцінки розмірів льодяних кульок [Popken F, Seifert JK, Engelmann R, et al. Comparison of iceball diameter and temperature distribution achieved with 3-mm accuprobe cryoprobes in porcine and human liver tissue and human colorectal liver metastases *in vitro*. Cryobiology. 2000; 40: 302-10], що утворюється за допомогою кріозондів в свіжих метастазах печінки свині та людини, який містить кріохірургічну установку на основі рідкого азоту з 3-мм та 8-мм кріозондами з ізольованими стрижнями і зоною довжиною 4 см без утеплювача на наконечниках (система AccuProbe 450, CMS, США); сталевий резервуар; шість термопар Т-типу, які підключені до багатоканального цифрового термометра (Ньюпорт-Омега, США) та розташовані паралельно кріозонду на певних відстанях від нього. Фіксація термопар проводиться за допомогою спеціально виготовленої підставки, яка складається з двох пластин оргскла з отворами для розміщення наконечників термопар.

Недоліком відомого пристрою є відсутність тепловізійної камери, що не дозволяє контролювати температуру на поверхні об'єкта низькотемпературного впливу. Також даний спосіб не дозволяє проводити низькотемпературний вплив на поверхню об'єкта та вводити термопари під кутом до поверхні об'єкта, що ускладнює макроскопічне дослідження об'єкта.

Найближчого аналога не знайдено.

В основу корисної моделі поставлено задачу розробити лабораторний вимірювальний комплекс для моделювання процесів заморожування-відтавання за умов низькотемпературного впливу, який дозволить проводити аналіз температурних полів об'єктів з температурою до -150 °С.

Поставлена задача вирішується в лабораторному вимірювальному комплексі для моделювання процесів заморожування-відтавання за умов низькотемпературного впливу, що містить ємність (1) з желатиновим фантомом, кріоінструмент (8), термометри опору (4), з'єднані з багатоканальним аналого-цифровим перетворювачем сигналів (5), аналізатор низькотемпературних теплових полів, що проводить вимірювання температури об'єкта до -150 °С (7), з програмним забезпеченням та комп'ютер для візуалізації та автоматичного запису даних (6), при цьому ємність (1) розміщують в додатковій ємності з теплоносієм (2), яку з'єднують з циркуляційним термостатом з насосом (12), а термометри опору (4) закріплюють у різних площинах на пристрої для фіксації (3), та додатково у трьох взаємно перпендикулярних напрямках до зони кріовпливу розташовують відеокамери (9), (10), (11).

Розміщення ємності (1) в ємності (2) дозволяє варіювати склад та температуру желатинового фантома, щоб мати можливість для відтворювання різних умов та станів об'єктів кріовпливу.

Вимірювальний комплекс дає змогу відеофіксувати процес заморожування-відтавання з різних напрямків у режимі реального часу за рахунок розміщення відеокамер (9), (10), (11) у трьох взаємно перпендикулярних напрямках.

Розташування термометрів опору (4) під різними кутами і у різних площинах дає можливість

визначати температуру желатинового фантому та зони заморожування у будь-якій точці кріовпливу та навколо.

Аналізатор низькотемпературних теплових полів (7) дозволяє контролювати температуру об'єкту до $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$.

На фіг. 1 наведено схему лабораторного вимірювального комплексу для моделювання процесів заморожування-відтавання за умов низькотемпературного впливу, що містить: ємність (1) з розмірами $176\text{ мм} \times 162\text{ мм} \times 100\text{ мм}$ та ємністю 1,6 л, яка призначена для розміщення желатинового фантому і пристрою для фіксації (3) термометрів опору (4) у зоні кріовпливу, які підключені до багатоканального аналого-цифрового перетворювача сигналів (5). Пристрій для фіксації (3) також використовують для фіксації трубок, які імітують судини (з можливістю їх розташування у різних площинах). Ємність (1) розташована у ємності (2) з прозорого пластику товщиною 2,0 мм, розмірами $325\text{ мм} \times 265\text{ мм} \times 100\text{ мм}$ та ємністю 6,5 л. В два суміжні кути ємності (2) вмонтовані на різній висоті L-подібно вигнуті металеві трубки діаметром 10 мм для підводу та відводу теплоносія за допомогою циркуляційного термостату з насосом (12). Кріоінструмент (8) розташований на штативі. Аналізатор низькотемпературних теплових полів (7), відеокамери (9), (10), (11) для моніторингу динаміки форми та розмірів зони заморожування з різних ракурсів та багатоканальний аналого-цифровий перетворювач сигналів (5) приєднані до комп'ютера (6).

На фіг. 2 наведено складові вимірювального комплексу: дві ємності з пристроєм для фіксації термометрів опору (фотографія).

Пристрій працює таким чином.

Желатиновий фантом, що складається з 5 % желатину та 95 % води, розміщують у ємності (1) та підтримують його температуру за допомогою циркуляційного термостата з насосом (12), що постійно прокачує теплоносій з відповідною температурою у ємності (2). Розміщують термометри опору (4) за допомогою пристрою для фіксації (3) у заданій зоні желатинового фантому. Термометри опору (4) підключають до багатоканального аналого-цифрового перетворювача сигналів (5), з якого дані передають на персональний комп'ютер (6) для реєстрації показників температури під час низькотемпературного впливу. Аналізатор низькотемпературних теплових полів "КріоАТГП" (7), здатний вимірювати температурні поля об'єктів з температурою до $-150\text{ }^{\circ}\text{C}$, встановлюють під кутом до поверхні желатинового фантому. Відеокамери (9), (10), (11) розміщують у трьох взаємно перпендикулярних напрямках до зони кріовпливу. Багатоканальний аналого-цифровий перетворювач сигналів (5), аналізатор низькотемпературних теплових полів (7) і відеокамери (9), (10), (11) приєднують до персонального комп'ютера (6). В кріоінструмент (8) на штативі з діаметром аплікатора 8 мм, наливають рідкий азот та розміщують на протилежному боці від термометрів опору (4), контролюючи температуру мідного наконечника кріоінструмента (8). Розпочинають кріовплив шляхом контакту мідного наконечника кріоінструмента (8) з поверхнею желатинового фантому у ємності (1). Одночасно проводять тепловізійне дослідження аналізатором теплових полів (7), пряму термометрію термометрами опору (4) з багатоканальним аналого-цифровим перетворювачем сигналів (5) та відеофіксацію процесу заморожування-відтавання відеокамерами (9), (10), (11). Проводять співставлення результатів тепловізійного дослідження з даними прямої термометрії і відеофіксації в процесі кріовпливу на модельних системах на персональному комп'ютері (6), на моніторі якого у реальному часі відображаються фільми у видимому та інфрачервоному діапазоні та динаміка показників термометрі. Отримані результати зберігають на жорсткому диску комп'ютера (6).

Розроблено лабораторний вимірювальний комплекс для моделювання процесів заморожування-відтавання за умов низькотемпературного впливу, який дозволяє в режимі реального часу кріовпливу *in vitro* одночасно і синхронно проводити оцінку динаміки форми та розмірів зони заморожування, розподілу температури в заданих точках у глибині модельної рідини та в будь-якій точці її поверхні.

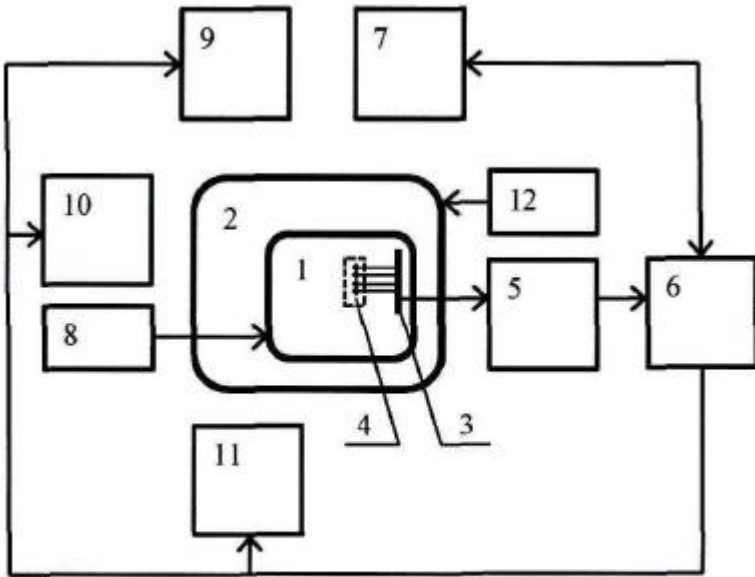


Fig. 1

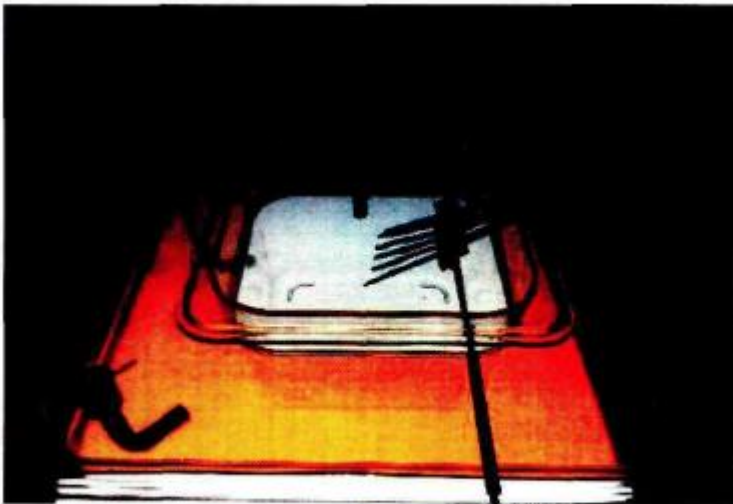


Fig. 2