

## УСТАНОВКА ПРЕЦИЗІЙНОЇ ТОНОМЕТРІЇ ТА КЕРОВАНОЇ ОСЕРЕДКОВОЇ ГІПОТОНІЇ ДЛЯ ДІАГНОСТИКИ ТА УСУНЕННЯ ЛОКАЛЬНИХ ПОРУШЕНЬ МІКРОЦИРКУЛЯЦІЇ В КІСТКАХ

Описана структурна схема, приведені характеристики основних блоків розробленого авторами приладу ВТ-1 для прецизійного мінімально інвазивного дослідження внутрішньокісткового та інших тисків в організмі з цифровою та паралельною графічною реєстрацією показників. Прилад є базовим в установці для формування керованої внутрішньоосередкової гіпотонії з діагностично-лікувальною метою.

**Ключові слова:** вимірювання внутрішньокісткового тиску, прилад, осередкова гіпотонія, порушення мікроциркуляції, діагностика

### Вступ

Пусковим механізмом багатьох патологічних процесів є функціональні порушення мікроциркуляції, які передують морфологічним змінам. Тому рентгенологічні (рентгенографія, КТ, спіральна КТ) та інші візуальні не променеві методи діагностики (МРТ, УЗД), що базуються на виявленні вторинних структурних або анатомічних змін, певною мірою є запізненими в порівнянні з фізіологічними, функціональними методами [5]. Типовим раннім проявом мікроциркуляторних розладів є порушення венозного відтоку з відповідним підвищенням внутрішньоорганного, внутрішньотканинного тиску (ВТТ), зростаючим подразненням больових-, барорецепторів [6, 3, 5]. Разом з тим, прецизійне визначення внутрішньотканинного, внутрішньосуглобового, внутрішньокісткового тисків (ВКТ) в клінічній практиці застосовується рідко, не дивлячись на високу чутливість, відносну простоту та інформативність методу [8, 7, 2]. Частково це пояснюється відсутністю доступних високо чутливих приладів для прямої тонометрії. Висока чутливість методу внутрішньотканинної тонометрії (ВТТо) певною мірою компенсує відносно низьку валідність в комплексній діагностиці патологічних станів [10]. Для вимірювання ВТТ з 60-х років використовуються різні пристрої: ртутний манометр Ріва-Роччі [9], апарат Вальдмана, прилади з тензотричними датчиками, на електронних потенціометрах ЕПП-09 [8] з реєстрацією ампервольтметром або самописцем Н-338 [3], електроманометр з реєстрацією самописцем Н-370 [2]. При цьому точність вимірювання досить низька,

як правило, складала не більше 2 мм рт. ст.<sup>1</sup>. Для калібрування застосовували ртутний манометр, причому його необхідно було здійснювати перед кожним дослідженням, а реєстрацію здійснювали досить інерційними типами самописців, що суттєво знижує цінність методу ВТТо. Пізніше для прямої тонометрії з'явився більш зручний, компактний прилад з цифровою індикацією „Intra-Compartmental Pressure Monitor System” фірми Stryker [7], який дає змогу робити виміри з точністю 1 мм рт.ст.

### Мета роботи

Створити прилад для прецизійного прямого вимірювання тисків в організмі в широкому діапазоні негативних і позитивних величин та їх місцевих градієнтів, з цифровою та паралельною графічною реєстрацією показників, в комплекті з установкою для формування осередку задано пониженого тиску.

### Матеріал та методи

Створеним приладом виконано дослідження ВКТ, внутрішньосуглобового тиску, гемодинамічних функціональних проб (ГФП) та формування спрямованих внутрішньоєпіфізарних течій (СВЕТ) [4] у 140 хворих з медіальними переломами шийки стегнової кістки, ішемічним остеонекрозом головки стегнової кістки (ГСК), гематогенним остеомієлітом кісток кінцівок та нижньої щелепи, компартмент-синдромом. Використовували комплекси тонометричні, рентгенологічні, КТ, МРТ, сонографічний, загальноклінічні методи дослідження.

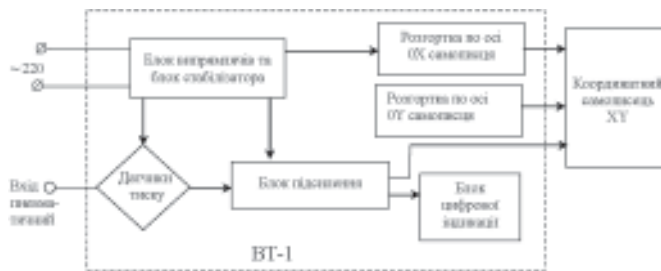
### Результати та обговорення

Для прецизійної тонометрії нами створено прилад – вимірювач тиску ВТ-1, на базі стандартних датчиків тиску ПДП-1000М та ПДП-12МД, з'єднаних з безінерційним координатним

<sup>1</sup> Одиниці виміру подаються в авторському варіанті з джерела інформації.

1 Па=0,102 мм вод.ст.; 1 мм рт.ст.=133,3Па; 1 ат.=1кгс/см<sup>2</sup>=98,1 кПа

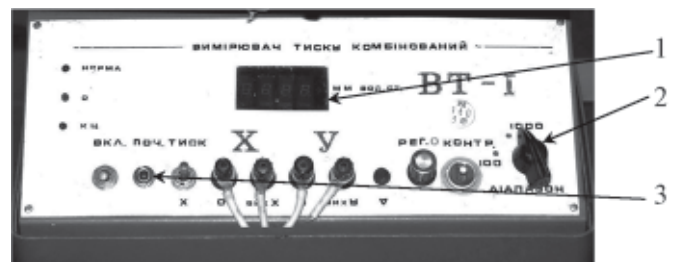
самописцем ХУ, що дозволяє реєструвати показники тиску з точністю 9,81 Па (1,0 мм водн. ст.). Принципова блок-схема приладу зображена на рис. 1.



**Рис. 1.** Структурна схема приладу VT-1 для вимірювання та графічної реєстрації тисків в організмі: ВКТ, ВСТ, ВТТ

В осередок дослідження тиску, наприклад в губчасту кісткову тканину, вводився гепаринізований катетер діаметром 1,4 мм. Через герметичну систему поліхлорвінілових трубок з триходовим краном від канюлі катетера рідина (кров) передається під певним досліджуваным тиском на мембрану високочутливого датчика тиску ПДП-1000М. Напруга з датчика, включеного в мостову схему, через блок підсилення поступає на блок цифрової індикації 1 (рис. 2) та паралельно на контакти осі ОУ координатного самописця. Блок стабілізатора забезпечує постійну напругу приладу, а блок розгортки подачу керованої напруги на контакти осі ОХ для рівномірного руху каретки самописця по осі абсцис з певною керованою швидкістю, залежною від величини напруги. При досягненні крайнього правого положення каретки, кнопкою „початок” 3 (рис. 2), здійснюється її повернення по осі ОХ у вихідне положення, процес запису динаміки тиску, за необхідності, може бути продовжений на новому листі паперу. Для визначення тиску з максимальною точністю, в межах 0,1 мм вод. ст., а також від’ємного тиску, використовували датчик ПДП-12МД. При цьому тиски з різних зон досліджуваного осередку або з різних осередків можуть подаватися через два окремі входи по дві сторони мембрани датчика. Це дає можливість досліджувати градієнти тиску, з перепадом його величини в десять долі міліметра водного стовпчика, яких достатньо для забезпечення руху крові та її компонентів в спонгіозній кістковій тканині. Дослідження тиску та його градієнтів в організмі з точністю такого порядку в літературі взагалі не описані. Прилад VT-1, при використанні датчика ПДП-1000М, передбачає дослідження тиску в двох діапазонах підсилення: 0,981 – 981 Па або (-10) – (+100) мм вод. ст. та 0,981 – 9,81 кПа або (-10) – (+1000) мм вод. ст., з точністю вимірювань 9,81

Па (1 мм вод. ст.). При використанні датчика ПДП-12МД діапазон вимірювань складає 0,49-294,3 Па або (-20) – (+30) мм вод. ст., з точністю до 0,1 мм вод. ст. (0,981 Па). Перемикач датчиків та діапазонів 2 знаходиться на панелі приладу (рис. 2).



**Рис. 2.** Зовнішній вигляд панелі приладу VT-1

Тарування приладу проводилося за допомогою мікроманометра ММ-250 з точністю до 0,01 мм вод. ст. Зручність використання VT-1 полягає також у відсутності необхідності проводити калібрування перед кожним дослідженням, на відміну від інших приладів [2, 3]. Як показала практика, властивості мембран датчиків досить стабільні і при повторних калібруваннях, виконаних через декілька місяців і навіть років, показники відповідності залишаються незмінними. Але для перевірки відсутності потенційних змін властивостей мембран датчиків, згідно правил метрології, доцільно 1-2 рази на рік проводити контрольне тарування приладу.

Цифрова індикація на панелі приладу 1 (рис. 2) є максимальною точною, а паралельна графічна реєстрація зручною для візуального відображення, вивчення динаміки процесу ВТТо, ГФП, який, при потребі, може тривати годинами та збереження даних на папері. При цьому максимальною зручним є поєднаний варіант реєстрації: паралельний мануальний запис точних цифрових показників біля ключових точок графіку, що відображає динаміку тиску. Зручність координатного самописця типу ХУ пояснюється також можливістю використання для запису любого стандартного паперу, наприклад формату А-4, А-3, міліметрового паперу, паперової стрічки в рулоні, тощо. Папір, після точної горизонтальної орієнтації на столику самописця розміром 30×40 см, на час запису, надійно утримується від зміни положення електростатичною силою, що утворюється на столику після включення відповідною кнопкою. Конструкція самописця передбачає вибір бажаного діапазону чутливості від 0,05 до 2,0 V/cm по обох осях, що забезпечує можливість реєструвати динаміку досліджуваних процесів в оптимально зручному масштабі з відповідною

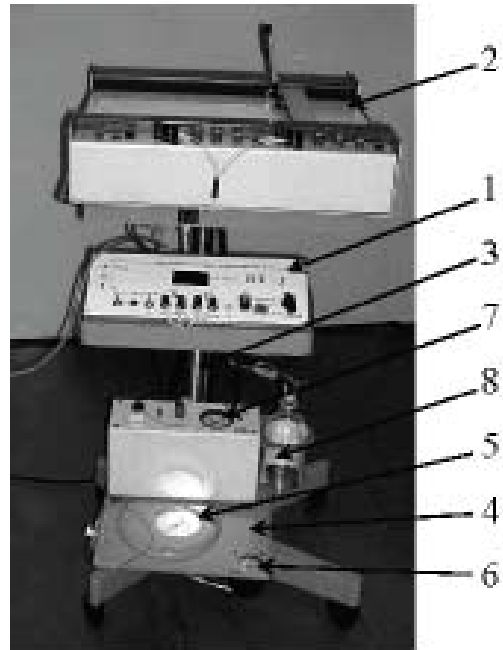
зміною точності вимірювань. В якості пера використовується гелева ручка. Зручність та надійність самописця забезпечується простою механічною будовою, що базується на 4-х мікроелектромоторчиках, що забезпечує надзвичайно низьку інерційність реєструючого приладу, на відміну від інших, які використовували автори для даної мети [2, 3].

Для визначення абсолютного рівня ВКТ використовували датчик ПДП-1000М. Тиск 9,81 Па (1 мм вод. ст.) відповідає лінійному переміщенню пера самописця по осі ординат на 1,0 мм при чутливості 0,05 V/cm. Зручною розгорткою по осі абсцис, в часі, є 12 мм за 1 хвилину, що забезпечується вибором чутливості по осі OX 0,1 V/cm.

При визначенні градієнтів ВКТ користувалися датчиком ПДП-12МД при чутливості 0,05 V/cm. В даному варіанті тиск 9,81 Па відповідає лінійному переміщенню пера по OY на 6,0 мм.

В зв'язку з тим, що дослідження проводяться біля ліжка хворого, в операційній, перев'язочній, тощо, для зручності переміщень та використання приладу ВТ-1 (рис. 3) і із самописцем 2 встановлені на рухомий столик-штатив на колесах, причому висота стояка 3 та розміщення верхньої (для самописця) та нижньої (для ВТ-1) платформ є змінні, і можуть регулюватися, при необхідності, відповідно висоті ліжка хворого або операційного стола. Точність висоти розміщення приладу ВТ-1 відносно серця хворого відіграє надзвичайно велику роль в разі використання в якості середовища для передачі тиску рідини (гепаринізованого фізіологічного розчину). В разі використання повітря, в якості середовища передачі тиску в герметичній системі трубок, висота розміщення датчика приладу ВТ-1 не впливає на точність вимірів, а прецизійність вимірів дозволяє це робити. Порівняльні виміри з трубками заповненими рідиною та повітрям показами суттєві переваги другого варіанту: розбіжність показників була не суттєвою, зате можна було виконувати ГФП пов'язані зі зміною положення тіла.

Дослідження ВКТ при ішемічних, дегенеративно-дистрофічних ураженнях кісток носить не тільки діагностичну, а і лікувальну мету, яка передбачає створення зони заданого розрідження та градієнту тиску, направлено в осередок порушеної мікроциркуляції спонгіозної кісткової тканини. Для цього після закінчення вимірів до канюлі внутрішньокістково введеного катетера герметично приєднується стерильними поліхлорвініловими трубками герметичний флакон об'ємом 500 мл, в якому попередньо створено розрідження заданої величини. Для визначення величини розрідження в момент підключення системи, його контролю



**Рис. 3.** Прилад ВТ-1 в комплекті установки з самописцем та приладами для формування і контролю рівня понижених тисків, місцевих градієнтів тиску

та утримання на запланованих рівнях в наступні дні, а також визначення ступеня незапланованого падіння розрідження, внаслідок перманентного порушення герметичності системи, використовували два манометри розрідження, вмонтованих в нижню платформу 4 столика-штатива. Манометром розрідження ВПЗ-У 5 визначали тиск в діапазоні 0 – (-101) кПа (-1,01·10<sup>5</sup> Па). Медичним манометром 6 – в діапазоні (-196,2) – 588,6 Па або (-20) – (+60) мм вод. ст. Лікувальну процедуру формування СВЕТ на ґрунті градієнту тиску, направлено в зону ішемії, проводили шляхом гідродинамічної осередкової катетерної аспірації поступово зростаючим зниженням тиску від 0 до (-6) кПа протягом декількох годин, з послідовним підключенням флакона із заданим постійним розрідженням порядку (-10) – (-30) кПа. Вказана поступовість забезпечується використанням на першому етапі медичного відсмоктувача з манометром 7 та герметичною перехідною буферною ємністю 8 об'ємом 500 мл. Для зручності відсмоктувач змонтовано вище нижньої платформи 4 столика-штатива.

Даний прилад ВТ-1 з самописцем використовується нами з діагностично-лікувальною метою на базі ортопедо-травматологічного відділення ОКЛ протягом 14-ти років [4]. За вказаний час проведено більше 500 досліджень у 140 хворих. Вивчали глибину ішемічних уражень ГСК при медіальних переломах шийки стегнової кістки, у 20 хворих на ранніх стадіях діагностовані: ішемічні остеонекрози ГСК, гематогенні остеомієліти кінцівок та нижньої щелепи, компартмент-син-



дроми, які підтвердилися пізніше візуальними методами діагностики (КТ, МРТ, рентгенологічним) та загально клінічними. Поліпшення якості діагностики, завдяки застосуванню методу тонометрії приладом ВТ-1, та своєчасне використання відповідних лікувальних міроприємств дозволило суттєво поліпшити результати лікування, скоротити його тривалість.

У 120 хворих з медіальними переломами шийки стегнової кістки, після ОМС трьома гвинтами, виконані дослідження динаміки ВКТ, ГФП в ГСК. За допомогою приладу ВТ-1 створювали та контролювали умови для виникнення СВЕТ крові та її компонентів із оточуючих тканин, з збереженою мікроциркуляцією, в зону ішемічного ураження, завдяки сформованому градієнту тиску, шляхом керованої гідродинамічної осередкової катетерної аспірації в зоні ішемії. Це стимулювало процеси рециркуляції та реваскуляризації і дало змогу знизити кількість негативних результатів в дослідній групі на 12,2% [4].

## Висновки

Прилад ВТ-1 зарекомендував себе як надійний в роботі, високоточний, зручний в експлуатації. Його застосування допомагає виконати діагностику ішемічних уражень спонгіозної кісткової тканини на ранніх стадіях та сформуванню умови для розвитку в ній процесів рециркуляції та реваскуляризації, а також своєчасно діагностувати інші паталогічні стани, пов'язані з мікроциркуляторними порушеннями.

## Література

1. Басанкин И. В. Остеотометрия и декомпрессия проксимального отдела бедренной кости при воспалительных и дегенеративных заболеваниях тазобедренного сустава.– автореф. дисс. ... канд. мед. наук, С-Пб, 2005.– 20 с.
2. Боер В.А., Шамрай А.Е. Сравнительное изучение кровообращения в костном мозге и скелетных мышцах при острой ишемии конечности в эксперименте // Ортопед. травматол.– 1982.– №7.– С. 29-32.
3. Григоровский В.В., Лискина И.В. Динамика некоторых показателей внутрикостного давления при острых нарушениях регионарного кровотока в эксперименте // Патологическая физиология и экспериментальная терапия.– 1993.– №1.– С. 12-15.
4. Метод профілактики ускладнень після металоостеосинтезу медіальних переломів шийки стегнової кістки / В.П.Омельчук, Л.М.Юрійчук, О.М.Лазорик [та ін.] // Літопис травматології та ортопедії.– 2013, №1-2 (25-26).– С.49-52.

5. Назаров Е.А., Селезнев А.В. Внутрикостное кровяное давление//Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.–2003.–№1.– С. 91-95.
6. О роли внутрикостной гипертензии в генезе болевого синдрома при гонартрозе / Макушин В.Д., Чегуров О.К., Казанцев В.И. [и др.] // Гений ортопедии.– 2000.–№ 2.– С. 52-55.
7. Профілактика, діагностика та лікування ішемічних контрактур кисті та стопи / Страфун С.С., Бруско А.Т., Лябах А.П. та ін. – К.: Стилос, 2007. – 264 с.
8. Стецула В.И., Хильченко Е.А. Изменения внутрикостного кровообращения при гипо- и гиперфункции конечностей // Ортопедия, травматология и протезирование.– 1974.– № 7.– С. 66-69.
9. Чен Г. Руководство по технике врачебных манипуляций / Г.Чен, Х.Е.Сола, К.Д.Лиллемо (перевод с англ. Алексеенко Ю.В. и др.) /– Витебск: Белмедкнига, 1996.– С. 288-291.
10. Юдин Я.Б. Острый гематогенный остеомиелит / Юдин Я.Б., Нурмаганбетов Т.К. //Травматология и ортопедия. Руководство для врачей; под ред. Ю.Г. Шапошникова. – М.: Медицина, 1997.– Т3. – С. 559-562.

**В.П. Омельчук<sup>1</sup>, Р.Т. Боднар<sup>2</sup>, Л.Г. Омельчук<sup>1</sup>,  
В.П. Пюрик<sup>1</sup>, І.В. Омельчук<sup>3</sup>**

### **Установка прецизионной тонометрии и управляемой очаговой гипотонии для диагностики и устранения локальных нарушений микроциркуляции в костях**

*Описана структурная схема, приведены характеристики основных блоков, разработанного авторами прибора ВТ-1 для прецизионного минимально инвазивного исследования внутрикостного и других давлений в организме с цифровой и параллельной графической регистрацией показателей. Прибор является базовым в установке для формирования управляемой внутриочаговой гипотонии с диагностическо-лечебной целью.*

**Ключевые слова:** измерение внутрикостного давления, прибор, очаговая гипотония, нарушения микроциркуляции, диагностика

**V.P. Omelchuk<sup>1</sup>, R.T. Bodnar<sup>2</sup>, L.G. Omelchuk<sup>1</sup>,  
V.P. Pjuryk<sup>1</sup>, I.V. Omelchuk<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> Ivano-Frankivsk National medical university

<sup>2</sup> Ivano-Frankivsk National technical university oil end gas

<sup>3</sup> Ivano-Frankivsk regional clinical hospital; Ukraine

### **The application of precision tonometry and controlled local hypotension to diagnose and reduce microcirculation disorders of the bone**

*It is described structure chart and showed characteristics of the main blocks of the invented device ВТ-1 for precision less-invasive pressure investigation of the bone and other tissues with digital and parallel graphic record of pressure issues. The equipment is the base for producing controlled local hypotension in order to diagnose and treat.*

**Key words:** bone pressure registration, device, local hypotension, microcirculation disorders, diagnostics