

УДК 330

Валерій КРИВОНОСОВ¹, д.т.н., доцент,
Олександр ШАЙКО-ШАЙКОВСЬКИЙ², д.т.н., професор,
Володимир БОГАЧУК³, к.т.н., доцент

¹ Одеська морська академія, Азовський морський інститут, e-mail: Yhtverf007@ukr.net

² Черновецький національний університет імені Юрія Федьковича, e-mail: shayko@gmail.com

³ Вінницький національний технічний університет, e-mail: bogachukvv64@gmail.com

МЕТОД ТА ІНФОРМАЦІЙНА ДІАГНОСТИЧНА СИСТЕМА НЕІНВАЗІЙНОГО КОНТРОЛЮ ПЕРЕЛОМУ ТРУБЧАСТИХ КІСТОК

Анотація. Скороченню термінів реабілітації пацієнтів, одними з яких є фіксуючі конструкції. Практика лікування перелому кістки стегна та гомілки показала, що до 25% ослаблення ФК, під дією випадкових ударних навантажень, припадає на реабілітаційний період. Внаслідок пошкодження елементів ФК та відсутність своєчасної діагностики призводять до руйнування кісткової тканини, остеопорозу, запалення м'яких тканин, що, як правило, є причиною інвалідності. Внаслідок пошкодження елементів ФК та відсутність своєчасної діагностики призводять до руйнування кісткової тканини, остеопорозу, запалення м'яких тканин, що, як правило, є причиною інвалідності. Наведено новий метод діагностики стану перелому, сформульовані критерій та їх взаємодія. Розроблено алгоритми для інформаційної системи контролю та діагностики перелому трубчастих кісток.

Ключові слова: перелом кістки, випадкові ударні навантаження, накісткова пластина, фіксуюча конструкція, алгоритм, інформаційна система.

Вступ. Одним із складних відділів опорно-рухової системи в аналітичному та біомеханічному плані є нижня кінцівка. За даними [1, 2] у структурі всіх переломів на стегнову кістку припадає від 15% до 45%, переломи кісток гомілки становлять до 38%.

Причини переломів трубчастих кісток різні, це, як правило, дорожньо-транспортні пригоди, виробничі, спортивні, побутові травми, підриви на фугасах та ін.

Питома вага первинного виходу на інвалідність внаслідок діафізарних переломів кісток стегна та гомілки знаходиться в межах від 5,0 до 39,9%, що становить 7,0...37,6% від усіх видів травм опорно-рухового апарату [3, 4].

Сучасна травматологія має у своєму розпорядженні великий оперативний асортимент методів і засобів, що сприяють скороченню термінів реабілітації пацієнтів, одними з яких є фіксуючі конструкції (ФК) – кісткового остеосинтезу, які за загальним визнанням лікарів-травматологів є найбільш доступними, дешевими, і можуть встановлюватися в умовах районних стаціонарів [5, 6].

Діагностику відновлення після перелому кістки умовно можна поділити на:

- до операційну діагностику;
- операцію із діагностикою, проведеною під час операції;
- період після операційного втручання та реабілітації [7, 8].

Практика лікування перелому кістки стегна та гомілки показала, що до 25% ослаблення ФК, під дією випадкових ударних навантажень, припадає на реабілітаційний період. Внаслідок пошкодження елементів ФК та відсутність своєчасної діагностики призводять до руйнування кісткової тканини, остеопорозу, запалення м'яких тканин, що, як правило, є причиною інвалідності.

Метод. Аналіз результатів досліджень дозволив сформулювати вимоги та розробити метод неінвазивної діагностики стану перелому трубчастої кістки [3, 4].

На рис. 1, представлена блок-схема комплексного пристрою неінвазивного контролю перелому кістки, де позначено: 1, 2, 3 – тензодатчики, 4 – датчики вимірювання температури кісткової пластини, 5, 6, 7, 8 – аналогово-цифрові перетворювачі, 9 – перший мікроконтролер, 10 – блок живлення з вбудованою вторинною обмоткою повітряного трансформатора, 11 –

передавач сигналу, 12 – приймач сигналу, 13 – другий мікроконтролер, 14 – височастотний інвертор з первинною обмоткою повітряного трансформатора, 15 – блок живлення, 16 – інформаційне табло 17 – датчики вимірювання температури тіла, 18 – аналого-цифровий перетворювач, 19 – накісткова пластина (НП), На накістковій пластині 19 встановлені датчик вимірювання температури кісткової пластини 4, два тензодатчики 1 і 3 встановлені між двома крайніми отворами для фіксуючих гвинтів, а тензодатчик 2, встановлений по центру вище місця перелому.

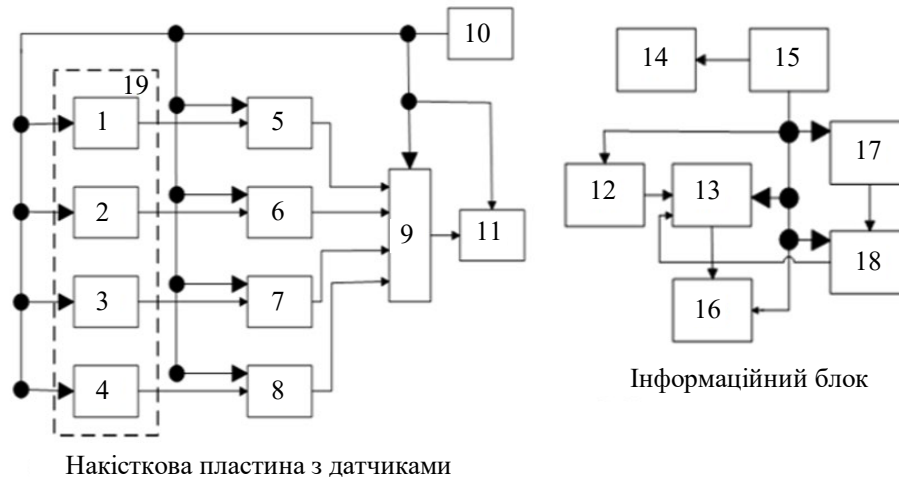


Рис. 1. Блок схема інформаційної системи контролю та діагностики перелому трубчастих кісток

Метод повинен забезпечувати:

- контроль сили тиску кісткової пластини на кістку в момент її встановлення та до завершення процесу реабілітації у двох крайніх точках пластини;
- контроль появи деформації накісткової пластини при дії згинальних моментів у місці перелому кістки;
- контроль наростання хрящового мозоля;
- контроль зміни температур тіла пацієнта, наприклад, зап'ястя руки та локальної температури кісткової пластини; Відсутність активних джерел живлення у ФК.

На рис. 2, представлено логічна схема проходження сигналів виміру контрольованих величин, командних і керуючих сигналів, де позначено: P_1 – показники давача тиску 1; P_2 – показники давача тиску хрящового мозолю 2; P_3 – показник давачів тиску 4; P_4 – показники давачів погибу 5; $^*P_1, ^*P_2, ^*P_3, ^*P_4$ – відповідні інформаційні вихідні параметри давачів тиску; $Q_{\text{нп}}$ – температура давача, що вимірює температуру накісткової пластини; °C, $Q_{\text{т}}$ – номінальна температура тіла (36,6 °C); $Q_{\text{т}}$ – температура давача що вимірює температуру тіла; $\Delta\delta_1, \Delta\delta_2$ – параметри похибок.

Критеріальні умови діагностики:

- зусилля на виході тензодатчиків 1 і 2 є сили тиску – F_{d1} та F_{d2} ;
- до встановлення накісткової пластини на кістку значення $F_{d1} = F_{d2} = F_{\text{max}}$;
- виконання рівності $F_{d1} = F_{d2} = 0$ – є критерієм кріплення НП до кістки з необхідною жорсткістю;
- виконання нерівності $F_{d1} \neq F_{d2} \neq 0$, у період реабілітації є критерієм виявлення початкового моменту ослаблення фіксуючої конструкції;
- контроль нарощування кісткового мозоля здійснюється тарільчастим датчиком 5, контроль сили тиску – F_{d3} ;
- до утворення мозоля розміром 2 мм та більше – $F_{d3} = 0$;

- при виконанні умови $F_{d3} > 0$, контролюється швидкістю наростання кісткового мозоля – $V_m = \frac{dF_{d3}}{dt}$,
- виконання умови $V_m = \frac{dF_{d3}}{dt} = 0$ – є критерієм достатнього зростання мозолю та відновлення перелому;
- появи вигину накісткової пластини здійснюється гратчастим тензодатчиком 4, контроль сигналу на його виході F_{d5} ;
- виконання рівності $F_{d5} = 0$ у період реабілітації є критерієм цілісності фіксуєчої конструкції,
- виконання умови $F_{d5} \neq 0$ – є критерієм вигину НП.

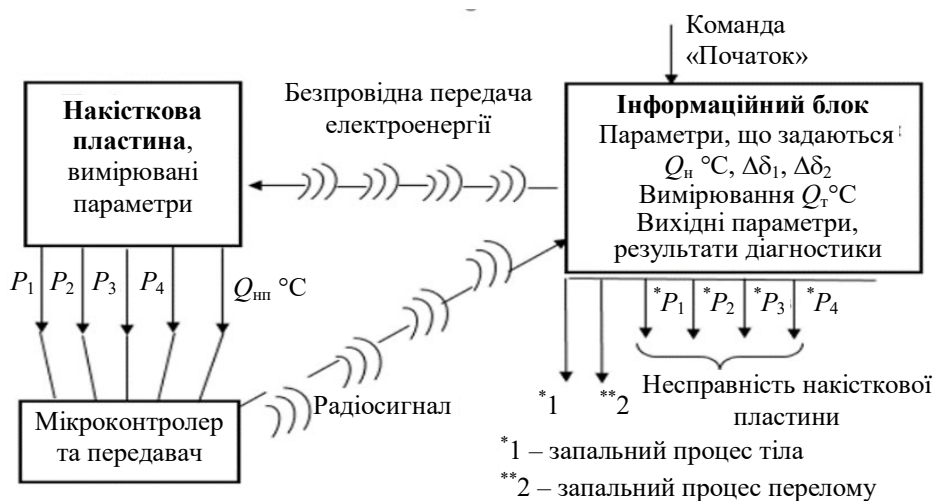


Рис. 2. Логічна схема проходження сигналів виміру контрольованих величин, командних і керуючих сигналів

- Критеріями виявлення причин запальних процесів у хворого є температурні показники:
- датчика 3, що контролює температуру НП – θ_{d1}° та датчика контролю температури тіла встановлюється на будь-якій ділянці – θ_{d2}° ;
 - виконання умови $\theta_{d1}^{\circ} = \theta_{d2}^{\circ} = 36,6 \pm 0,2$ °C є критерієм відсутності запального процесу у хворого,
 - виконання умови $\theta_{d1}^{\circ} < \theta_{d2}^{\circ} > = 36,6 \pm 0,2$ °C є критерієм початкового запального процесу у хворого, який не пов’язаний із переломом,
 - виконання умови $\theta_{d1}^{\circ} > 36,6 \pm 0,2$ °C і $\theta_{d2}^{\circ} = 36,6 \pm 0,2$ є критерієм початкового запального процесу м’який тканин в області перелому.
- Для мікроконтролерів, розташованих у накістковій пластині та в інформаційному блоці, розроблені алгоритми та випробувана робоча комп’ютерна програма. Використана мова програмування «C++» [5]. Алгоритм працює таким чином.
- Критеріальні співвідношення контрольованих величин:
- зусилля на виході тензодатчиків 1 і 4 сили тиску – P_1 і P_3 ;
 - до установки накісткової пластини на кістку значення – $P_1 = P_3 = P_{\max}$;
 - виконання рівності – $P_1 = P_3 = 0$ – є критерієм рівномірного кріплення НП до кістки з необхідною жорсткістю,
 - виконання нерівності $P_1 \neq P_3 \neq 0$ у період реабілітації, є критерієм виявлення початкового моменту ослаблення фіксуєчої конструкції;

– контроль нарощування кісткової мозолі здійснюється тарілчастим датчиком 2, контроль сили тиску – P_2

– до утворення мозоля розміром 2 мм і більше – $P_2 = 0$.

– за умови виконання $P_2 > 0$, контролюється швидкість наростання кісткового мозоля – $V_m = \frac{dP_{d2}}{dt}$,

– виконання умови $V_m = \frac{dP_{d2}}{dt} = 0$ – є критерієм достатнього зростання мозоля і відновлення перелому.

– появи вигину накісткової пластини здійснюється решітчастим тензодатчиком 5, контроль сигналу на його виході P_4 ;

– виконання рівності $P_4 = 0$ в період реабілітації є критерієм цілісності фіксуєчої конструкції,

– виконання умови $P_4 \neq 0$ – є критерієм вигину накісткової пластини.

Критеріями виявлення причин запальних процесів у хворого є температурні показники датчика 3, що контролює температуру накісткової пластини – $\theta_{\text{нп}}^{\circ}$ та датчика контролю температури тіла 18 на будь-якій ділянці – $\theta_{\text{т}}^{\circ}$:

– виконання умови $\theta_{\text{нп}}^{\circ} = \theta_{\text{т}}^{\circ} = 36,6 \pm 0,2$ °C є критерієм відсутності запального процесу у хворого,

– виконання умови $\theta_{\text{нп}}^{\circ} < \theta_{\text{т}}^{\circ} > 36,6 \pm 0,2$ °C є критерієм початкового запального процесу у хворого, не пов’язаного з переломом,

– виконання умови $\theta_{\text{нп}}^{\circ} > 36,6 \pm 0,2$ °C та $\theta_{\text{т}}^{\circ} = 36,6 \pm 0,2$ °C є критерієм початкового запального процесу м’яких тканин в області перелому.

Практична реалізація. Отвори, які розташовані у фіксуєчій пластині, встановлюють мембранні опуклі тензодатчики 1 і 4 між крайніми парами отворів для фіксуєчих гвинтів. Таке розташування мембранних опуклих тензодатчиків 1 і 4 дозволяє отримати максимальне їх зміщення при ослабленні фіксації пластини під дією мінімального моменту скручування та зусиль що розтягує або стискає кістку. Виникнення ослаблення фіксуєчої пластини, під дією не передбаченого та випадкового навантаження, призведе до появи проміжку між кісткою й одним або двома мембранними опуклими тензодатчиками 1 або 4. Зусилля фіксації змінюється, що є критерієм ослаблення фіксації й зміщення місця перелому. Поява зменшення зусилля є критерієм провести своєчасні рентгенодіагностику.

Температурний датчик 3 встановлюється на будь-якій ділянці фіксуєчої пластини. Кріплення фіксуєчої пластини здійснюється так, щоб мембранний опуклий тензодатчик 2 розташовувався над місцем перелому, в цьому випадку відстань від перелому до мембранного опуклого тензодатчика – 2 встановлена не більш 2 мм. Тензодатчик решітчастого виду 5 розташований над місцем перелому кістки. Таке розташування датчика 5 дозволяє фіксувати вигин накісткової пластини і пошкодження регенерату. первісне зусилля – $P_4 = 0$.

При встановленні фіксуєчої пластини на кістки, під час операції, в мембранних опуклих тензодатчиків 1 і 4 відбувається натискання мембран, що дозволяє вимірювати та контролювати зусилля фіксації при закріпленні фіксуєчої пластини. Отримане первинне значення зусиль – P_1 та P_3 запам’ятовуються і служать коефіцієнтом обнуління значень, отриманих при другому і наступних вимірах.

При встановленні накісткової пластини зусилля $P_2 = 0$. В умовах нормального процесу реабілітації перелому зростання хрящового мозоля призведе до натискання мембрани мембранного опуклого тензодатчика 5 при $P_2 > 0$, контролюється швидкість наростання кісткової мозолі – $V_m = \frac{dP_{d2}}{dt}$, виконання умови $V_m = \frac{dP_{d2}}{dt} = 0$ – є критерієм достатнього зрос-

тання мозоля і відновлення перелому. Лікаряю це дозволяє встановлювати та контролювати навантаження на кістку або робити висновок повного одужання хворого.

При виявленні початкового росту температури фіксуєної пластини вимірюють температуру пацієнта в іншому доступному місці, наприклад, на руці. Відсутність зростання температури пацієнта на руці є критерієм виявлення запального процесу в місці перелому. Одночасне зростання контрольованих температур на фіксуєній пластині та в іншому доступному місці є критерієм загального захворювання, не пов'язаного з переломом.

Інформаційний блок розташовують на зап'ясті руки. Початком контролю й діагностики стану фіксуєного пристрою перелому є команда «Початок». Вимірюється температура тіла. На дисплеї відображається ця інформація.

Висновок. Для отримання інформації з датчиків, розташованих у накістковій пластині, інформаційний блок підноситься до місця перелому на відстань не менше 20...25 см. По бездротової передачі електроенергії датчики які розташовані у накістковій пластині отримують живлення. Проводиться вимірювання показників і обчислення їх середніх значень. Отримана інформація по бездротовому зв'язку передається в інформаційний блок, де обробляється. Відповідно до критеріїв проводиться діагностика про стан накісткової пластини, темпів зрощування перелому і наявність запального процесу.

Література

1. Нестругина Е.С., Чичикало Н.И. Концепция определения состояния двигательных функций человека в процессе реабилитации после травматизма. «Искусственный интеллект» № 2. 2011 г. С 60–65.
2. Попов В.П., Здрелько Н.Г. и др. Осложнения при накостном остеосинтезе у больных с переломом длинных трубчатых костей. Ортопедия №2 2014г. С 5-10.
3. Пат. № 122468 Україна Н02Н А 61В 5\103; Способ контроля перелома кости при накостном остеосинтезе Кривонос В.Э Заявл. а2019 07284, 01.07.2019.; Оpub. 10.11.2020; Бюл. № 21. – 7 с.
4. Патент на винахід 123932 Україна С2 МПК ; Пристрій для діагностики стану перелому при накістковому остеосинтезі Кривонос В.Є., Шайко Шайковський А.Ш., Кривонос В.В. Заявл. а2019 141579 02.12.2019; Оpubл. 23.06.2021, Бюл. № 25. – 7 с.
5. Комп'ютерна програма «Неінвазійний контроль і діагностика стану перелому кістки при накістковому остеосинтезу. Свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір № 104604 від 18.05.2021; заявл. № с202102695 від 30.05.2021, Бюл. № 65. Кривонос В.Е., Кривонос В. В., Борякін А. О. Бухлал Н.А., Шайко Шайковський.
6. Pavlov S. V. Information Technology in Medical Diagnostics //Waldemar Wójcik, Andrzej Smolarz, July 11, 2017 by CRC Press – 210 Pages.
7. Wójcik W., Pavlov S., Kalimoldayev M. Information Technology in Medical Diagnostics II. London: (2019). Taylor & Francis Group, CRC Press, Balkema book. – 336 Pages.
8. Olexandr Romanyuk, Sergii Pavlov. Teaching and subjects on bio-medical engineering. Approaches and experiences the BIOART-project, (2021), edited by Peter Arras and David Luengo, printed by Acco cv, Leuven (Belgium), 2021, 391 P.