

## ЗМІНИ ТРИВКІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРАВМОВАНОЇ ВЕЛИКОГОМІЛКОВОЇ КІСТКИ ЩУРІВ РІЗНОГО ВІКУ ЗА УМОВ ЗАГАЛЬНОЇ ДЕГІДРАТАЦІЇ ОРГАНІЗМУ

Сумський державний університет, медичний інститут (м. Суми)

Робота виконана відповідно до плану наукових досліджень Сумського державного університету і є складовою частиною науково-дослідної теми кафедри анатомії людини «Закономірності вікових і конституціональних морфологічних перетворень за умов впливу ендо- і екзогенних чинників і шляхи їх корекції» на 2013-2017 роки, № держ. реєстрації 0113U001347.

**Вступ.** Демографічні процеси, що відбуваються в сучасному суспільстві, призводять до різкого збільшення в популяції осіб похилого та старечого віку ортопедичного профілю у всіх розвинених державах [9,11]. Метаболічні захворювання опорно-рухової системи є значущим фактором ризику малоенергетичних ушкоджень великих сегментів скелету. Головними біомеханічними властивостями органів кісткової системи, як твердих тіл, є міцність і пружність [5,8]. Протягом багатьох років механічні властивості кісткової тканини, а також механізми, що лежать в основі їх змін при різних захворюваннях, становлять значний науковий і медичний інтерес [10]. Знання цих механізмів дозволяє детальніше заглибитися в процеси патогенезу захворювань опорно-рухової системи людини, що відкриває нові перспективи в питаннях профілактики і лікування такої патології кісткової тканини. Крім того, дослідження механічних властивостей кісток необхідно для поліпшення якості матеріалів, що застосовуються при оперативному лікуванні травм і захворювань опорно-рухового апарату. Всі внутрішні фіксатори і ендопротези, які використовуються в остеосинтезі і при ортопедичних операціях, повинні мати властивості, максимально наближені за своїми характеристиками людським кісткам [2]. Значна частина досліджень спрямована на вивчення залежності механічних властивостей кісткової тканини від її стану на мікроструктурному рівні [3].

**Метою дослідження** було вивчення тривкісних властивостей травмованої великогомілкової кістки щурів різних вікових груп за умов загальної дегідратації організму.

**Об'єкт і методи дослідження.** Дослідження тривкісних характеристик травмованих великогомілкових кісток проведено на білих лабораторних

щурах-самцях згідно до «Європейської конвенції про захист хребетних тварин, які використовуються для експериментів та інших наукових цілей» (Страсбург, 1986), «Загальних етичних принципів експериментів на тваринах», ухвалених Першим національним конгресом з біоетики (Київ, 2001), Гельсинської декларації Генеральної асамблеї Всесвітньої медичної асоціації (2000).

Тварини поділені на дві основні серії: перша – контрольна, яка включає три групи тварин в залежності від віку: молоді (3 місяці), зрілі (8 місяців) та старечі (понад 24 місяці), маса тіла яких не перевищувала 200 г. Друга серія тварин – експериментальна, яка також поділяється на групи в залежності від віку та ступеня загального зневоднення. Загальну дегідратацію експериментальних тварин досягали шляхом повного позбавлення їх питного раціону за Соболевою А. Д.. В якості їжі щури отримували сухий комбікорм. Легкий ступінь зневоднення досягався утриманням експериментальних особин без води протягом трьох діб, середній – протягом 6 – 7 діб та важкий – протягом 10 – 12 діб. Водний дефіцит при легкому ступені зневоднення становив 2-5%, при середньому – 6-10%, при сублетальному – вище 10%.

Щурам контрольної та експериментальної серії (по досягненню відповідного ступеня зневоднення), в асептичних умовах операційної під кетаміновим наркозом наносився дірчастий дефект в середній третині діяфізу обох великогомілкових кісток стоматологічним бором діаметром 1,2-2мм. На операційну рану накладали 1 шов, тварин виводили з наркозу, щурів другої серії переводили на звичайний питний раціон. Після завершення терміну дослідження проводили декапітацію щурів під наркозом на 24 добу, після чого у піддослідних тварин вилучали травмовану великогомілкову кістку для подальшого дослідження її тривкісних властивостей на розрив і стискання. Для цієї мети використовувався спеціальний пристрій, який давав змогу визначити поздовжні сили кістки (Р, кгс) за допомогою дії на них зовнішньої сили [6,7].

Для проведення експерименту на стискання виготовляли препарати діяфізу кісток так, щоб

співвідношення висоти до його діаметру складало 3, це є найоптимальнішим співвідношенням для даної тривкісної характеристики. При дослідженні ж кістки на згин використовували її цілісні препарати [1]. Надалі проводили розрахунок геометричних характеристик перетину кістки. Для визначення межі міцності на стискання та розтягнення визначалася площа поперечного перетину кістки після його фотографування. На отриманому зображенні візуалізується контур зруйнованої ділянки, який надалі оброблявся за допомогою програмного забезпечення компанії Аськон – Компас 3D [4,8]. Після цього проводилося визначення вже отриманого контура в Компас 3D і отримувалися цифрові значення розмірів. Після серії розрахунків за допомогою програми Компас 3D отримали показники кінцевих величин поздовжньої руйнівної сили (кгс), модуля Юнга (Па), межі міцності (кгс/мм<sup>2</sup>) та жорсткості поперечного перетину (Н).

### Результати досліджень та їх обговорення.

Вивчаючи параметри міцності у молодих тварин при легкому ступені загального зневоднення можна відмітити їх різницю в порівнянні з показниками контрольної групи (рис. 1). Передусім знижується показник межі міцності на розтягнення на 6,13% ( $p \leq 0,05$ ) та на стискання на 5,40% ( $p \leq 0,05$ ), показник модуля Юнга також має тенденцію до зменшення на 9,57% ( $p \leq 0,05$ ). З кожним подальшим ступенем зневоднення тривкісні властивості кісткової тканини прогнозовано погіршуються. Так, при середньому ступені дегідратації значення межі міцності на розтягнення менші за показники контрольної групи тварин на 13,12% ( $p \leq 0,05$ ), а межі міцності на стискання на 9,09% ( $p \leq 0,05$ ). Внаслідок попередніх змін знижуються і показники модуля Юнга на 17,92% ( $p \leq 0,05$ ). Найсуттєвіші зміни в різних вікових групах спостерігалися при важкому ступені зневоднення. Передусім визначається погіршення показників межі міцності на розтягнення на 19,98% ( $p \leq 0,05$ ) та межі міцності на стискання на 12,66% ( $p \leq 0,05$ ). Зміни цих параметрів чинять прямий вплив і на модуль Юнга, який зменшується на 26,61% ( $p \leq 0,05$ ).

При легкому ступені загальної дегідратації у зрілих щурів зміни міцнісних властивостей виражені дещо менше, ніж у молодих тварин (рис. 2). Так, межа міцності на розтягнення менша за показники контролю на 5,39% ( $p \leq 0,05$ ), а межа міцності на стискання – на 4,01% ( $p \leq 0,05$ ). Така біомеханічна властивість кістки як міцність на розтягнення має пряму залежність від еластичності кісткової тканини, а саме від особливостей будови колагенових волокон. Натомість, міцність кістки на стискання залежить від мінеральної складової кісткової тканини. Тому, зниження межі міцності на розтягнення при середньому ступені загальної дегідратації у зрілих тварин на 9,22% ( $p \leq 0,05$ ) та на 15,53% ( $p \leq 0,05$ ) при важкому ступені дегідратації свідчить про сповільнення та порушення утворення колагенових волокон. Зниження межі міцності на стискання при середньому ступені на 7,99% ( $p \leq 0,05$ ) та при важкому

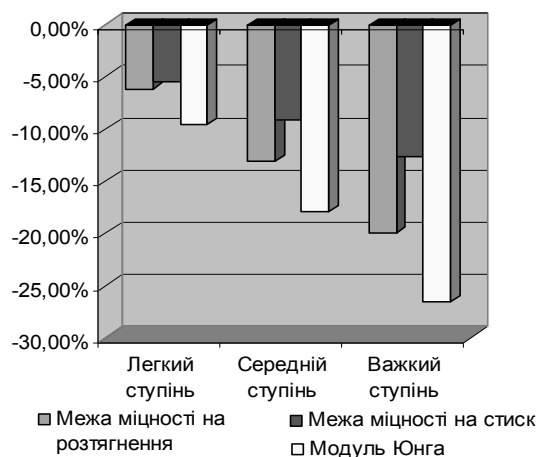


Рис. 1. Зміни параметрів міцності великогомілкової кістки молодих щурів в умовах загальної дегідратації різних ступенів.

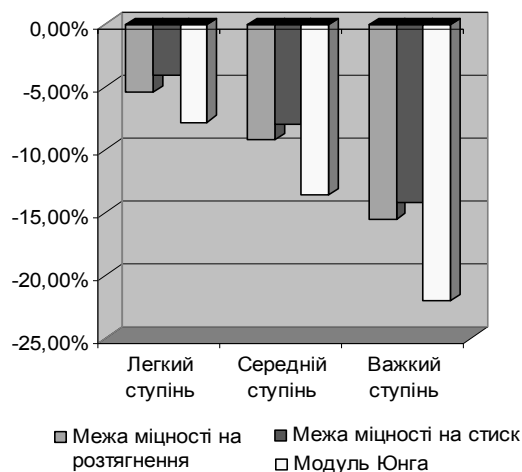


Рис. 2. Зміни параметрів міцності великогомілкової кістки зрілих щурів в умовах загальної дегідратації різних ступенів.

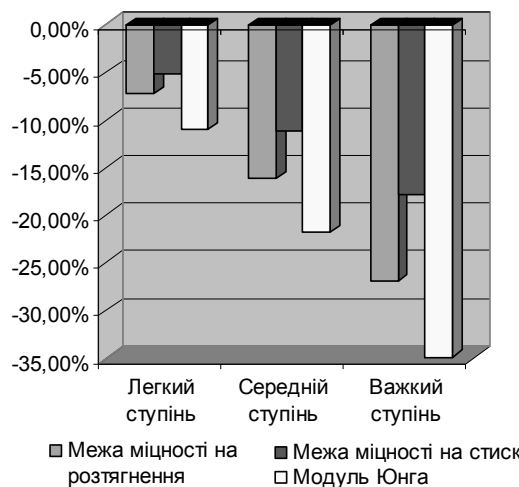


Рис. 3. Зміни параметрів міцності великогомілкової кістки старечих щурів в умовах загальної дегідратації різних ступенів.

**Дані варіаційно-статистичної обробки показників міцності великогомілкової кістки щурів через 24 доби після перелому за умов загального зневоднення організму**

**Таблиця** 16,17% ( $p \leq 0,05$ ) при середньому ступені та на 26,89% ( $p \leq 0,05$ ) при важкому; показники межі міцності на стискання знизилися на 11,09% ( $p \leq 0,05$ ) при середньому ступені та на 17,85% ( $p \leq 0,05$ ) – при важкому. Визначається й прогнозоване зменшення модуля Юнга на 21,81% ( $p \leq 0,05$ ) при середньому ступені та на 34,88% ( $p \leq 0,05$ ) при важкому ступені зневоднення.

Вік	Ступінь дегідратації	Межа міцності на розтягнення, Н/ммІ	Межа міцності на стиск, Н/мм <sup>2</sup>	Модуль Юнга, Н/ммІ
Молоді	контроль	23,03±0,17	41,49±0,32	11,50±0,19
	легкий	21,62±0,24	39,25±0,27	10,40±0,21
	середній	20,01±0,19	37,72±0,31	9,44±0,24
	важкий	18,43±0,33	36,24±0,29	8,44±0,31
Зрілі	контроль	28,21±0,28	43,18±0,26	20,02±0,31
	легкий	26,69±0,41	41,45±0,37	18,46±0,26
	середній	25,61±0,22	39,73±0,19	17,30±0,19
	важкий	23,83±0,17	37,06±0,24	15,61±0,25
Старечі	контроль	19,86±0,21	34,29±0,15	29,62±0,23
	легкий	18,43±0,33	32,54±0,31	26,37±0,31
	середній	16,65±0,27	30,49±0,24	23,16±0,34
	важкий	14,52±0,16	28,17±0,21	19,29±0,21

Порушення міцнісних характеристик у кістці тварин старечого віку пов'язано з критичним накопиченням великих кристалів гідроксиапатиту з подальшим збільшенням крихкості кісткової тканини та впливом стресового фактору на порушення відновлення кістки.

**Висновки.** Дані, які отримані в ході експериментального дослідження, свідчать про значний вплив різних ступенів загальної дегідратації на міцнісні властивості травмованої кістки. Причому, прослідковується закономірність, чим тяжчий ступінь дегідратаційних змін, тим показники міцності гірші. Як відомо, кістка складається

– на 14,18% ( $p \leq 0,05$ ) відображає порушення процесів мінералізації кісткової тканини.

Найбільш виражені зміни виявились у показниках міцності тварин старечого віку (**табл.**). Так, при легкому ступені загальної дегідратації у тварин старечого віку (**рис. 3**) показники межі міцності на розтягнення зменшилися на 7,21% ( $p \leq 0,05$ ), а на стискання – на 5,11% ( $p \leq 0,05$ ). Відповідно відбувається і зменшення модуля Юнга на 10,98% ( $p \leq 0,05$ ). Подальше порушення мінералізації кістки та архітектоники колагенових волокон відображається й у погіршенні параметрів міцності при середньому та важкому ступенях дегідратаційних змін. Передусім, відмічаються грубі зсуви всіх показників: межа міцності на розтягнення зменшилася на

з кристалів гідроксиапатиту (маленьких, середніх та великих), а з віком, відбувається критичне збільшення великих кристалів гідроксиапатиту, що робить кістку більш крихкою. Тому, враховуючи вікові особливості кісткової тканини визначили, що найбільш стійкими до впливу зневоднення виявились тварини зрілого віку, а найбільш дезадаптованими – старечі щури.

**Перспективи подальших досліджень.** Наступним етапом планується провести визначення тривісних характеристик травмованої великогомілкової кістки щурів за умов корекції морфофункціональних змін регенерату травмованих великогомілкових кісток, які викликані важким ступенем загального зневоднення організму.

**Література**

1. Аврунин А. С. Остеоцитарное ремоделирование костной ткани: история вопроса, морфоогические маркеры / А. С. Аврунин, Р. М. Тихилов // Морфология. – 2011. – № 1. – С. 86-94.
2. Аврунин А. С. Механизм жесткости и прочности кости в норме и при старении организма. Наноразмерная модель / А. С. Аврунин // Гений Ортопедии. – 2008. – № 3. – С. 59-66.
3. Арсеньев Д. Г. Эффективные упругие характеристики анизотропной модели пористого биологического материала, насыщенного жидкостью / Д. Г. Арсеньев, А. В. Зинковский, Л. Б. Маслов // Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. – 2008. – № 3 (59). – С. 230-236.
4. Вольмир А. С. Сопротивление материалов : учебник для вузов по направлениям и специальностям в области техники и технологии / А. С. Вольмир, Ю. П. Григорьев, А. И. Станкевич ; Ред. Д. И. Макаревский. – М.: Дрофа, 2007. – 591 с.
5. Дубровский В. И. Биомеханика / В. И. Дубровский, В. Н. Федорова. – М.: Владос-Пресс, 2004. – 672 с.
6. Кавалерский Г. М. Лечение инфицированных несращений костей голени / Г. М. Кавалерский [и др.] // Врач. – 2008. – № 5. – С. 22-24.
7. Колчина А. А., Кузьмин Ю. Ф. Актуальные вопросы травматизма криминального характера / А. А. Колчина, Ю. Ф. Кузьмин // Общественное здоровье и здравоохранение. – 2008. – № 2. – С. 6-8.
8. Очинский В. В. Сопротивление материалов. Именной и терминологический словарь. – издание 2-е, переработанное, дополненное / В. В. Очинский, А. А. Кожухов, Ю. А. Лобейко. – М.: «Колос», Ставрополь: «Агрис», 2009. – 192 с.
9. Kanis J. A. European guidance for the diagnosis and management of osteoporosis in postmenopausal women / J. A. Kanis, N. Burlet, C. Cooper [et al.] // Osteoporos. Int. – 2008. – Vol. 19(4). – P. 339-428.
10. Martel-Pelletier J. Is osteoarthritis a disease involving only cartilage or other articular tissues? / J. Martel-Pelletier, J. P. Pelletier // Eklem Hastalik Cerrahisi. – 2010. – № 21. – P. 2-14.
11. Meyer H. E. Higher bone mineral density in rural compared with urban dwellers: the NOREPOS study / H. E. Meyer, G. K. Berntsen, A. J. Sogaard [et al.] // Am. J. Epidemiol. – 2004. – Vol. 160 (11). – P. 1039-1046.

УДК 616. 718. 5-001. 5-008. 817-092. 9-06:613. 31

### **ЗМІНИ ТРИВКІСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ТРАВМОВАНОЇ ВЕЛИКОГОМІЛКОВОЇ КІСТКИ ЩУРІВ РІЗНОГО ВІКУ ЗА УМОВ ЗАГАЛЬНОЇ ДЕГІДРАТАЦІЇ ОРГАНІЗМУ**

**Огієнко М. М., Бумейстер В. І.**

**Резюме.** Експеримент проведений на білих лабораторних щурах – самцях молодого, зрілого та старечого віку, яким наносився дірчастий перелом великогомілкової кістки в умовах загальної дегідратації організму різних ступенів важкості. Метою роботи було вивчення тривкісних властивостей травмованої кістки молодих, зрілих і старих тварин експериментальної групи тварин. У ході експерименту виявили кількісні зміни і провели порівняльну характеристику між усіма групами тварин. Найбільші зміни виявлені в групі тварин старечого віку, а найменші – у щурів зрілого віку. Визначено закономірності змін тривкісних властивостей кістки залежно від ступеня водно – електролітних порушень. Про це свідчать результати дослідження, в яких вже при легкому ступені дегідратації межа міцності на розтягування і модуль Юнга найбільш всього знижуються в групі тварин старечого віку на 7,21 % ( $p \leq 0,05$ ) та 10,98 % ( $p \leq 0,05$ ). При середньому та важкому ступенях загальної дегідратації виявляється подальше прогнозоване погіршення показників у щурів старечого віку, що проявилось в найбільшому зниженні серед всіх вікових груп характеристик тривкості травмованої великогомілкової кістки (межа тривкості на розтягнення на 16,17 % ( $p \leq 0,05$ ) і 26,89 % ( $p \leq 0,05$ ), межа тривкості на стискання на 11,09 % ( $p \leq 0,05$ ) і 17,85 % ( $p \leq 0,05$ ), модуль Юнга на 21,81 % ( $p \leq 0,05$ ) і 34,88 % ( $p \leq 0,05$ ), відповідно).

**Ключові слова:** загальна дегідратація, тривкісні властивості кістки, межа на стискання, межа на розтягнення, модуль Юнга.

УДК 616. 718. 5-001. 5-008. 817-092. 9-06: 613. 31

### **ИЗМЕНЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ТРАВМИРОВАННОЙ БОЛЬШЕБЕРЦОВОЙ КОСТИ КРЫС РАЗНОГО ВОЗРАСТА В УСЛОВИЯХ ОБЩЕЙ ДЕГИДРАТАЦИИ ОРГАНИЗМА**

**Огиенко М. М., Бумейстер В. И.**

**Резюме.** Эксперимент проведен на белых лабораторных крысах – самцах молодого, зрелого и старческого возраста, которым наносился дырчатый перелом большеберцовой кости в условиях общей дегидратации организма различных степеней тяжести. Целью работы было изучение прочностных свойств травмированной кости молодых, зрелых и старых животных экспериментальной группы животных. В ходе эксперимента обнаружили количественные изменения и провели сравнительную характеристику между всеми группами животных. Наибольшие изменения выявлены в группе животных старческого возраста, а наименьшие – у крыс зрелого возраста. Определены закономерности изменений прочностных свойств кости в зависимости от степени водно – электролитных нарушений. Об этом свидетельствуют результаты исследования, при котором уже при легкой степени дегидратации предел прочности на растяжение и модуль Юнга наиболее всего снижаются в группе животных старческого возраста на 7,21 % ( $p \leq 0,05$ ) та 10,98 % ( $p \leq 0,05$ ). При средней и тяжелой степени общей дегидратации выявляется дальнейшее прогнозируемое ухудшение показателей у крыс старческого возраста, что проявилось в наибольшем снижении среди всех возрастных групп прочностных характеристик травмированной большеберцовой кости (предел прочности на растяжение на 16,17 % ( $p \leq 0,05$ ) и 26,89 % ( $p \leq 0,05$ ), предел прочности на сжатие на 11,09 % ( $p \leq 0,05$ ) и 17,85 % ( $p \leq 0,05$ ), модуль Юнга на 21,81 % ( $p \leq 0,05$ ) и 34,88 % ( $p \leq 0,05$ ), соответственно).

**Ключевые слова:** общая дегидратация, прочностные свойства кости, предел на сжатие, предел на растяжение, модуль Юнга.

UDC 616. 718. 5-001. 5-008. 817-092. 9-06: 613. 31

### **Changes of Solid Properties of Injured Tibial Bone of Rats of Different Age in Conditions of General Dehydration of Organism**

**Ogiyenko M. M., Bumeyster V. I.**

**Abstract.** In modern life trauma is one of the three leading causes of mortality with cardiovascular and oncological diseases. Proportion of deaths in working age reached 27 %, with the majority (80 %) of male individuals. The problem of recovery after bone injury is caused by one of the oldest in medicine, and in spite of its long history, is far from being solved to date and in need of new methods of optimization, which is relevant in the practice of medicine. Disorders of water- electrolyte metabolism – a very common pathology in critically ill. Emerging with disorders of water content in the different environments of the body and the related changes in the content of electrolytes and acid alkaline status set the stage for the emergence of dangerous disorders of vital functions and metabolism. The main biomechanical properties of the skeletal system as solids, is the strength and resilience. Over the years, the mechanical properties of bone tissue and the mechanisms underlying their changes in various diseases, are of considerable scientific and medical interest. Knowledge of these mechanisms allows more processes to delve into the pathogenesis of diseases of the musculoskeletal system of humans, which opens new perspectives in the prevention and treatment of this pathology of bone.

The experiment was performed on white laboratory rats – males young, mature and old age, which was applied perforated fracture of the tibia in a general dehydration of various degrees. After the end of their studies were

performed in rats decapitation under anesthesia for 24 days, after which the test animals confiscated injured tibia to further study its strength properties at break and compression. For this purpose, a special device was used, which gave an opportunity to determine the longitudinal strength of bone by means of the action of external force.

The aim of the study was to investigate the strength properties of the injured bones of young, mature and old animals of the experimental group. The experiment revealed quantitative changes and conducted comparative characteristics among all groups of animals.

The greatest changes were found in the group of elderly animals, and the lowest – in mature rats. The regularities of changes in the strength properties of the injured tibia depending on the degree of water – electrolyte imbalance.

These are the results of a study in which even at mild dehydration limit of tensile strength and Young's modulus most of all falling in the elderly group of animals to 7,21 % ( $p \leq 0,05$ ) and 10,98 % ( $p \leq 0,05$ ). In medium or severe dehydration turns general further predicted deterioration in elderly rats, manifested in the largest decrease among all age groups strength characteristics of the injured tibia (yield tensile strength at 16,17 % ( $p \leq 0,05$ ) and 26,89 % ( $p \leq 0,05$ ), the tensile strength in compression to 11,09 % ( $p \leq 0,05$ ) and 17,85 % ( $p \leq 0,05$ ), Young's modulus to 21,81 % ( $p \leq 0,05$ ) and 34,88 % ( $p \leq 0,05$ ), respectively). Each subsequent level of dehydration strength properties of bone predictably worse. Reduction of tensile strength in compression reflects the disturbance of mineralization of bone tissue.

The data obtained during the experimental study indicate a significant effect of different degrees of dehydration in general strength properties of the injured bone. Moreover, the pattern is traced, the heavier the degree of dehydration change, the strength ratios worse. It is known that bone consists of hydroxyapatite crystals (small, medium and large) and with age, there is a critical increase in large crystals of hydroxyapatite, which makes bones more brittle. Breaking strength characteristics of bone in animal elderly is associated with a critical accumulation of large crystals of hydroxyapatite, followed by an increase in bone fragility and the impact of stressors in violation of restoring bone. Therefore, given the age characteristics of bone determined that the most resistant to the effects of dehydration appeared to mature animals, and the most maladjusted – senile rats.

**Key words:** general dehydration, bone solid properties, the limit on compression, stretching to the limit, Young's modulus.

*Рецензент – проф. Сікора В. З.  
Стаття надійшла 25. 04. 2014 р.*