

КОРОТКІ ПОВІДОМЛЕННЯ ТА НОТАТКИ З ПРАКТИКИ

УДК 616.717/.718-001.45:617.57/.58]-089.843](045)

DOI: <http://dx.doi.org/10.15674/0030-59872024476-81>

Хірургічне лікування дефектів кісток кінцівок унаслідок вогнепальних поранень

А. В. Родіонов, Д. С. Носівець, В. Г. Бець, В. В. Воронець, М. А. Денисюк

Військово-медичний клінічний центр Східного регіону, Дніпро. Україна

According to various authors, in wartime, injuries to the limbs as a result of combat trauma account for 44 to 70 % of all musculoskeletal injuries. In approximately 80 % of wounded, gunshot bone fractures are characterised by the presence of a bone defect of varying size. Despite certain difficulties and complications in the treatment of bone defects, orthopedic surgeons have quite effective methods of treating this pathology. However, a promising area of treatment is the technology of manufacturing an individual implant using 3D-printing of the scaffolds of existing bone defects and double-plate osteosynthesis with autobone grafting. Objective. To present the possibilities of surgical treatment of wounded with bone defects of the limbs as a result of gunshot wounds. The preliminary results of surgical treatment of 2 wounded with diaphyseal bone defects due to gunshot wounds of the upper and lower extremities, who were treated in the trauma department of the Military Medical Clinical Centre of the Eastern Region in 2022–2024, were analysed. To improve the functional results of treatment, we proposed three stages of rehabilitation treatment and implemented appropriate rehabilitation measures. To replace bone defects, we used the «double-plating» method with autobone grafting and individual implants made by 3D-printing. The results of surgical treatment were evaluated by clinical, radiological and functional data. It was found that fixation with two plates in combination with autogenous bone grafting ensures stable fixation, which helps to consolidate the bone defect and restore the functional capacity of the limb, and the use of individual implants made by 3D-printing allows to replace the lost bone tissue, which leads to the restoration and preservation of the functional state of the damaged limb. Keywords. Bone defects, individual implants, 3D-printed scaffolds, osteosynthesis, gunshot wounds, combat trauma, upper and lower limb.

Проаналізовано літературні джерела та виявлено, що в умовах війни ушкодження кінцівок унаслідок бойової травми сягають від 44 до 70 % від усіх травм опорно-рухового апарата. Майже у 80 % поранених вогнепальні переломи кісток характеризуються наявністю кісткового дефекту різної величини. Незважаючи на певні труднощі й ускладнення, під час лікування дефектів кісток в арсеналі ортопедів-травматологів є досить ефективні методики. Наразі перспективним напрямом є технології виготовлення індивідуального імплантата за допомогою 3D-друку каркасів наявних дефектів кісток і накістковий остеосинтез двома пластинами з аутокістковою пластиною. Мета. Навести можливості хірургічного лікування осіб із дефектами кісток кінцівок унаслідок вогнепальних поранень. Подано попередні результати хірургічного лікування 2 військовослужбовців із діафізарними дефектами кісток унаслідок вогнепальних поранень верхньої та нижньої кінцівки, які лікувалися у травматологічному відділенні військово-медичного клінічного центру Східного регіону у період 2022–2024 роки. Для вдосконалення функціональних результатів запропоновано три етапи відновного лікування та впроваджено відповідні реабілітаційні заходи. Для заміщення кісткових дефектів використовували метод «double-plating» з аутокістковою пластиною й індивідуальні імплантати, виготовлені методом 3D-друку. Результати хірургічного лікування оцінювались за клініко-рентгенологічними та функціональними показниками. Встановлено, що фіксація двома пластинами в поєднанні з аутогенною кістковою пластиною забезпечує стабільність фіксації, що сприяє консолідації кісткового дефекту та відновленню функціональної спроможності кінцівки, а використання індивідуальних імплантатів, виготовлених методом 3D-друку дозволяє замінити втрачену кісткову тканину, що приводить до відновлення та збереження функціонального стану ушкодженої кінцівки.

Ключові слова. Дефекти кісток, індивідуальні імплантати, 3D-друковані каркаси, остеосинтез, вогнепальні поранення, бойова травма, верхня та нижня кінцівки

Вступ

За даними різних авторів в умовах війни ушкодження кінцівок унаслідок бойової травми сягають від 44 до 70 % від усіх травм опорно-рухового апарата. Майже у 80 % поранених вогнепальні переломи кісток характеризуються наявністю кісткового дефекту різної величини, первинного — внаслідок дії високоенергетичного снаряду, або вторинного — резекція кістки на тлі розвитку інфекційного процесу [1–5].

Незважаючи на певні труднощі й ускладнення під час лікування діафізарних і метадіфарних дефектів кісток в арсеналі ортопедів-травматологів є досить ефективні методи лікування цієї патології. Зокрема, рекомендоване використання різноманітних методик кісткової трансплантації (аутологічна, алогенна, ксенотрансплантація та трансплантація штучної кістки), техніка Masquelet (формування індукованої мембрани), дистракційний остеогенез за Г. А. Ілізаровим, трансплантація малогомілкової кістки (на судинній ніжці або зі шкіряним клаптом) та спосіб поздовжньої остеотомії малогомілкової кістки з подальшим транспортом [6–10]. Перелічені способи лікування кісткових дефектів у хворих із вогнепальними пораненнями мають свої покази, ускладнення, недоліки та переваги й широко застосовуються в сучасних умовах війни [11–15].

Перспективним напрямом є технології виготовлення індивідуального імплантата за допомогою 3D-друку каркасів наявних дефектів кісток, які залежно від свого типу поділяються на однокомпонентні та композитні [16–20].

Узагалі лікування вогнепальних поранень кінцівок вимагає комплексного підходу, що включає контроль кровотечі, ранню стабілізацію уражених структур, боротьбу з інфекцією, реконструкцію м'яких тканин і кісток, а також подальшу реабілітацію та фізіотерапію. Вибір оптимальної тактики лікування поранених із вогнепальними дефектами кісток є складним клінічним завданням через високий ризик розвитку ускладнень і тривалості [21].

Мета: навести можливості хірургічного лікування поранених із дефектами кісток кінцівок унаслідок вогнепальних поранень.

Матеріал і методи

Подані попередні результати оперативного лікування 2 поранених із діафізарними дефектами кісток унаслідок вогнепальних поранень верхньої та нижньої кінцівок, які перебували в травматологічному відділенні ВМКЦ Східного регіону

в період 2022–2024 років. Матеріали дослідження були схвалені локальним комітетом з біоетики ВМКЦ Східного регіону (протокол № 3 від 18.03.2024 р.). Пацієнти, залучені до дослідження підписали інформовану згоду. Механізм травм був обумовлений впливом високоенергетичного озброєння.

Покази до проведення операції: наявність вогнепального поранення кінцівки, діафізарний дефект кісткової тканини, загоєні дефекти м'яких тканин у ділянці реконструктивно-відновного втручання, відсутність ознак загальної та локальної інфекції. Протипокази: ознаки інфекційного процесу, важкий післятравматичний стресовий розлад, алкоголізм і наркоманія.

Для визначення характеру ушкодження використовувалась класифікація кісткових дефектів, запропонована К. D. Tetsworth зі співавт., [22] згідно з якою кісткові дефекти визначені як D3B (розміром від 4 до 8 см) і D3C (дефекти розміром більше 8 см).

Пацієнтам проводились стандартні загальноклінічні та біохімічні дослідження крові та сечі, бактеріологічні, визначався рівень гострофазових білків крові, виконувалась стандартна рентгенографія, спіральна комп'ютерна томографія (СКТ), електронейроміографія (ЕНМГ), ультразвукове дослідження судин кінцівок (УЗД) [21].

Для вдосконалення функціональних результатів хворих нами запропоновані три етапи відновного лікування та впроваджені відповідні реабілітаційні заходи:

– I — проліковані із застосуванням принципів Damage control orthopaedics. Хворим проводились первинні та повторні хірургічні обробки, фасціотомії, використовувались пристрої позавогнищевого остеосинтезу, VАС-терапії й антибактеріальні спейсери;

– II — проводилась конверсія методу лікування шляхом виконання реконструктивно-відновного хірургічного втручання з заміщенням кісткових дефектів;

– III — лікування в реабілітаційних центрах України.

Для заміщення кісткових дефектів використовували метод «double-plating» з аутокістковою пластикою [23–25] та індивідуальні імплантати, виготовлені методом 3D-друку. Як ортобіологічний матеріал використовували титанові сплави [16, 18–20].

Хірургічні втручання виконували за традиційною методикою з використанням стандартної

передопераційної підготовки хворого й анестезіологічного забезпечення. Вибір положення хворого на операційному столі та хірургічного доступу залежали від анатомічної локалізації кісткового дефекту, особливостей і завдань оперативного втручання. Для аутокісткової пластики використовували трикірковий трансплантат із крила клубової кістки, забір якого здійснювали за стандартною методикою в розмірах відповідних до наявного кісткового дефекту. В післяопераційному періоді проводили антибіотико- та тромбопрофілактику, призначали знеболюючу та симптоматичну терапію, спостерігали за загоєнням рани. Для знерухомлення кінцівки використовували типові ортези впродовж відповідного терміну, необхідного для адекватної кісткової консолидації та попередження формування контрактур у суміжних суглобах.

Результати хірургічного втручання оцінювались за клініко-рентгенологічними та функціональними даними (динаміка кісткової консолидації, обсяг рухів у суглобах кінцівки, ступінь атрофії м'язів, ознаки інфекційного процесу, нейропатії периферичних нервів, задоволеність хворого результатами).

Результати

Пацієнти були чоловіками з ушкодженням верхньої та нижньої кінцівок внаслідок вогнепального поранення. Під час використання методу «double-plating» з аутокістковою пластикою застосовувались дві накісткові компресійні пластини розміром 3,5 мм, розташовані у двох перпендикулярних площинах.

Клінічний приклад № 1

Хворий Г. 30 р., госпіталізований до травматологічного відділення ВМКЦ Східного регіону з діагнозом: вогнепальне кульове наскрізне поранення правого плеча з вогнепальним переломом правої плечової кістки. Післятравматична нейропатія променевого нерва (рис. 1).

Унаслідок етапного хірургічного лікування сформувався дефект діяфізу плечової кістки розміром 4,5 см. Після передопераційної підготовки під загальним знеболенням виконано відкриту репозицію, накістковий остеосинтез двома пластинами з кістковою аутопластиком правої плечової кістки (рис. 2, а, б).

Післяопераційний період пройшов без особливостей, шви зняті на 14 добу після втручання, рана загоїлась первинним натягом. Спостережений у відділенні через 2 місяці після операції. Під час огляду — післяопераційний рубець без

особливостей, атрофія м'язів правої верхньої кінцівки 1,5 см, позитивна динаміка відновлення сили м'язів і ділянок іннервації променевого нерва, амплітуда рухів у суміжних суглобах фізіологічна. На контрольних рентгенограмах через 2 (рис. 3, а) та 12 місяців (рис. 3, б) з часу операції відмічена позитивна кісткова консолидація.

Під час використання індивідуальних імплантатів, виготовлених методом 3D-друку як ортобіологічний матеріал застосовували титанові сплави.

Клінічний приклад № 2

Хворий А. 31 р., госпіталізований до травматологічного відділення ВМКЦ Східного регіону з діагнозом: вогнепальне осколкове наскрізне поранення правої гомілки на межі середньої та нижньої третини з ушкодженням великогомілкової артерії. Після етапного хірургічного лікування сформувався дефект діяфізу правої великогомілкової кістки розміром 9,68 см (рис. 4).

Після передопераційної підготовки під загальним знеболенням, виконано відкриту репозицію, інтрамедулярний остеосинтез стрижнем, встановлено індивідуальний титановий імплантат з кістковою аутопластиком дефекту правої великогомілкової кістки (рис. 5).

Післяопераційний період пройшов без особливостей, шви зняті на 14 добу після втручання, рана загоїлась первинним натягом. Спостережений у відділенні через 3 місяці після операції. Під час огляду — ділянка післяопераційного рубця без особливостей, атрофія м'язів правої нижньої кінцівки 2 см, позитивна динаміка відновлення сили м'язів, амплітуда рухів у суміжних суглобах фізіологічна. На контрольних рентгенограмах через 3 (рис. 6, а) та 12 місяців (рис. 6, б) з часу операції відмічена позитивна кісткова консолидація.



Рис. 1. Фотовідбиток рентгенограми хворого Г. із вогнепальним переломом правої плечової кістки

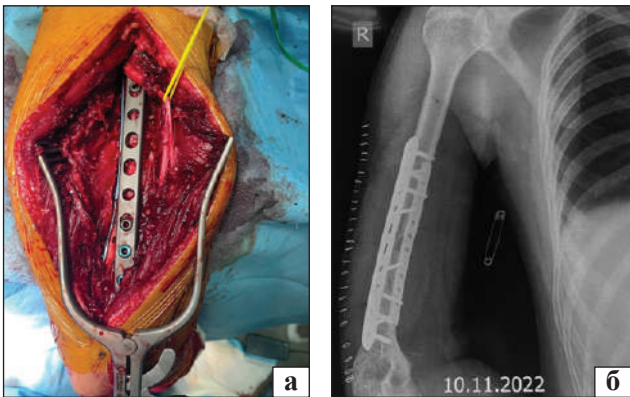


Рис. 2. Вигляд операційної рани під час втручання (а) та фотовідбиток рентгенограми правої плечової кістки після операції (б)

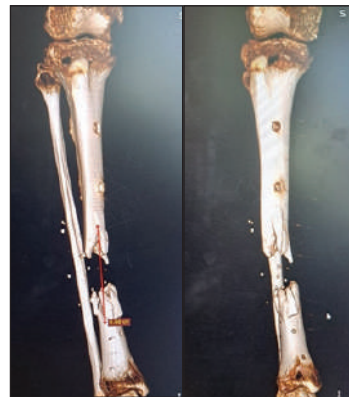


Рис. 4. Фотовідбитки СКТ-зображень на етапі передопераційного планування у хворого А. з дефектом діафізу правої великогомілкової кістки



Рис. 3. Фотовідбитки рентгенограм хворого Г. через 2 (а) та 12 (б) місяців після відкритої репозиції, накісткового остеосинтезу двома пластинами з кістковою аутопластиком правої плечової кістки

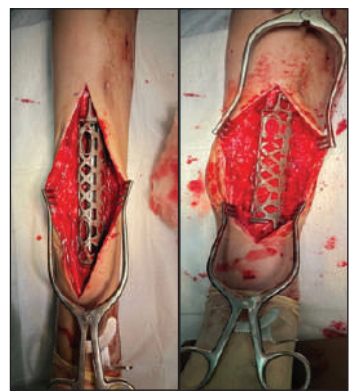


Рис. 5. Вигляд операційної рани під час відкритої репозиції, інтрамедулярного остеосинтезу стрижнем і встановлення індивідуального титанового імплантата з кістковою аутопластиком дефекту правої великогомілкової кістки

Обговорення

Використання двох пластин має на меті створення додаткової стабілізації фрагментів перелому, як за первинної фіксації, так і оперативного лікування хибних суглобів [23–25]. У нашому дослідженні дві компресійні пластили використані для жорсткої фіксації кісткового аутотрансплантата на тлі кісткового дефекту внаслідок вогнепального поранення. На наш погляд, запропонована фіксація має певні переваги над традиційними методами кріплення внаслідок:

- стабільності фіксації. Встановлення двох пластин у перпендикулярних площинах забезпечує більшу щільність кріплення ділянок кісткового аутотрансплантата. Це дозволяє забезпечити кращу стабілізацію ушкодженого сегмента кістки, сприяє фізіологічній консолидації кістки в ділянці «кістка-аутотрансплантат», що є запорукою ранніх дозованих навантажень і профілактикою розвитку уповільненого зрощення і хибного суглоба;



Рис. 6. Фотовідбитки рентгенограм хворого А. через 3 (а) та 12 (б) місяців після відкритої репозиції, інтрамедулярного остеосинтезу стрижнем та встановлення індивідуального титанового імплантата з кістковою аутопластиком дефекту правої великогомілкової кістки

- рівномірного розподілу навантаження. Остеосинтез двома пластинами дозволяє розподілити навантаження на кістку рівномірніше, зменшити напруження на окремі ділянки кістки й уникнути виникнення ділянок стресового напруження, що

запобігає розвитку таких ускладнень як руйнування металоконструкції;

– регенераторного потенціалу. Вогнепальні переломи мають більш тривалий термін консолідації ніж закриті та частіше ускладнюються уповільненим зрощенням, розвитком хибного суглоба й інфекційних ускладнень. Тому використання аутокісткової пластики дозволяє відновити не лише кістковий дефект, а також є джерелом кісткової регенерації.

Суттєвим обмеженням для використання двох накісткових пластин за кісткових дефектів унаслідок вогнепальних переломів безумовно є інфекція. Тому запорукою безпечного використання цього методу є ретельний відбір хворих для хірургічного втручання.

Використання індивідуальних імплантатів, виготовлених методом 3D-друку останнім часом набуває все більшої популярності. Так, в останні десятиліття активно досліджувалось питання впливу скаффолдів (каркасів) на остеогенез і остеointegraцію. На сьогодні скаффолди отримують із природної та синтетичної біокераміки, біополімерів, металевих біоматеріалів або їхніх сплавів, а також різноманітних композитних біоматеріалів. У літературі наведено вичерпний огляд складу, механічних і біологічних властивостей, технології 3D-друку, переваг і застосування різних однокомпонентних каркасів, які використовуються зокрема в ортопедії та травматології для відновлення дефектів кісток за допомогою 3D-друку [16, 19, 20]. Із нашої точки зору для відновлення кісткових дефектів унаслідок вогнепальних поранень доцільно використання індивідуальних імплантатів, виготовлених методом 3D-друку з титанових сплавів.

Висновки

Дефекти кісток унаслідок вогнепальних поранень є важливою проблемою сучасної військової травматології.

Фіксація двома пластинами в поєднанні з аутогенною кістковою пластиною забезпечує стабільність фіксації, що сприяє консолідації кісткового дефекту та відновленню функціональної спроможності кінцівки.

Використання індивідуальних імплантатів, виготовлених методом 3D-друку за кісткових дефектів через вогнепальні поранення дозволяє замінити втрачену кісткову тканину, що приводить до відновлення і збереження функціонального стану ушкодженої кінцівки.

Конфлікт інтересів. Автори декларують відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури

1. Cameron, K. L., & Owens, B. D., (2016). Musculoskeletal injuries in the military. *Springer*. <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2984-9>
2. Breeze, J., Penn-Barwell, J., Keene, D. D., O'Reilly, D. J., Jeyanathan, J., & Mahoney, P. F. (2017). *Ballistic trauma: A practical guide*.
3. Lim, R. B. Surgery during natural disasters, combat, terrorist attacks, and crisis situations. (2016). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23718-3>
4. Lerner, A., & Soudry, M. (2011). *Armed conflict injuries to the extremities: A treatment manual*. Springer Science & Business Media.
5. Owens, B., & Belmont, P. (2024). *Combat orthopedic surgery*. <https://doi.org/10.1201/9781003523222>
6. Zarka, S., & Lerner, A. (2017). *Complicated war trauma and care of the wounded: The Israeli experience in medical care and humanitarian support of Syrian refugees*. Springer.
7. Callaway, D. W., & Burstein, J. L. Operational and medical management of explosive and blast incidents. (2020). <https://doi.org/10.1007/978-3-030-40655-4>
8. Velmahos, G. C., Degiannis, E., & Doll, D. (2016). *Penetrating trauma: A practical guide on operative technique and Peri-operative management*. Springer.
9. Wolfson, N., Lerner, A., & Roshal, L. (2016). *Orthopedics in disasters: Orthopedic injuries in natural disasters and mass casualty events*. Springer.
10. Lurin, I., Burianov, O., Yarmolyuk, Y., Klapchuk, Y., Derkach, S., Gorobeiko, M., & Dinets, A. (2024). Management of severe defects of humerus in combat patients injured in Russo-Ukrainian war. *Injury*, 55(2), 111280. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2023.111280>
11. Grubor, P., Milicevic, S., Grubor, M., & Meccariello, L. (2015). Treatment of bone defects in war wounds: retrospective study. *Medical archives (Sarajevo, Bosnia and Herzegovina)*, 69(4), 260–264. <https://doi.org/10.5455/medarh.2015.69.260-264>
12. Alford, A. I., Nicolaou, D., Hake, M., & McBride-Gagy, S. (2021). Masquelet's induced membrane technique: Review of current concepts and future directions. *Journal of orthopaedic research*, 39(4), 707–718. <https://doi.org/10.1002/jor.24978>
13. Heitmann, C., & Levin, L. S. (2003). Applications of the vascularized fibula for upper extremity reconstruction. *Techniques in hand & upper extremity surgery*, 7(1), 12–17. <https://doi.org/10.1097/00130911-200303000-00004>
14. Millonig, K., & Hutchinson, B. (2021). Management of Osseous Defects in the Tibia: Utilization of External Fixation, Distraction Osteogenesis, and Bone Transport. *Clinics in podiatric medicine and surgery*, 38(1), 111–116. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2020.09.006>
15. Purnell, C. A., Aasen, M., Alkureishi, L. W. T., Dumanian, G. A., & Patel, P. K. (2022). A novel method of fibula flap in situ distraction osteogenesis prior to flap transfer. *Plastic and reconstructive surgery*, 150(5), 1099–1103. <https://doi.org/10.1097/PRS.00000000000009640>
16. Dong, J., Ding, H., Wang, Q., & Wang, L. (2024). A 3D-Printed scaffold for repairing bone defects. *Polymers*, 16(5), 706. <https://doi.org/10.3390/polym16050706>
17. Bull, A. M., Clasper, J., & Mahoney, P. F. (2018). *Blast injury science and engineering: A guide for clinicians and researchers*. Springer.
18. Vasyliiev, R. G., Oksymets, V. M., Rodnichenko, A. E., Zlatska, A. V., Gubar, O. S., Gordiienko, I. M., & Zubov, D. O. (2017). Tissue-engineered bone for treatment of combat related limb injuries. *Experimental Oncology*, 39(3). <https://doi.org/10.1007/978-3-319-23718-3>

- doi.org/10.31768/2312-8852.2017.39(3):191.196
19. Yang, Y., Chu, L., Yang, S., Zhang, H., Qin, L., Guillaume, O., Eglin, D., Richards, R. G., & Tang, T. (2018). Dual-functional 3D-printed composite scaffold for inhibiting bacterial infection and promoting bone regeneration in infected bone defect models. *Acta Biomaterialia*, 79, 265–275. <https://doi.org/10.1016/j.actbio.2018.08.015>
 20. Lv, S., Liu, X., Sui, J., Bai, C., Fan, B., Zhang, W., Yuan, P., Zhu, J., Li, J., & Shao, B. (2024). In vivo research on 3D-printed composite PLGA and PDLA-HA absorbable scaffolds for repairing radius defects in rabbits. *Journal of international medical research*, 52(3). <https://doi.org/10.1177/03000605241233418>
 21. Guidelines for military field surgery. (2024). Kyiv: Lyudmila Publishing House.
 22. Tetsworth, K. D., Burnand, H. G., Hohmann, E., & Glatt, V. (2021). Classification of bone defects: An extension of the orthopaedic trauma association open fracture classification. *Journal of orthopaedic trauma*, 35(2), 71–76. <https://doi.org/10.1097/bot.0000000000001896>
 23. Feng, D., Wang, X., Sun, L., Cai, X., Zhang, K., Wang, Z., & Zhu, Y. (2020). Double plating with autogenous bone grafting as a salvage procedure for recalcitrant humeral shaft nonunion. *BMC musculoskeletal disorders*, 21(1). <https://doi.org/10.1186/s12891-020-03743-y>
 24. Mardani-Kivi, M., Karimi Mobarakeh, M., Keyhani, S., & Azari, Z. (2020). Double-plate fixation together with bridging bone grafting in nonunion of femoral supracondylar, subtrochanteric, and shaft fractures is an effective technique. *Musculoskeletal surgery*, 104(2), 215–226. <https://doi.org/10.1007/s12306-019-00615-0>
 25. Peng, Y., Ji, X., Zhang, L., & Tang, P. (2016). Double locking plate fixation for femoral shaft nonunion. *European journal of orthopaedic surgery & traumatology*, 26(5), 501–507. <https://doi.org/10.1007/s00590-016-1765-z>

Стаття надійшла до редакції 14.10.2024

SURGICAL TREATMENT OF BONE DEFECTS OF THE EXTREMITIES AFTER GUNSHOT INJURIES

A. V. Rodionov, D. S. Nosivets, V. G. Bets, V. V. Voronets, M. A. Denysiuk

Military Medical Clinical Centre of the Eastern Region, Dnipro. Ukraine

- ✉ Anton Rodionov: anrod@ukr.net
- ✉ Dmytro Nosivets, MD, PhD, DSc, Prof.: dsnosivets@ukr.net
- ✉ Volodymyr Bets, MD, PhD: skazp@gmail.com
- ✉ Vasyl Voronets: voronets94@gmail.com
- ✉ Mykhailo Denysiuk: mickewildland@gmail.com