

OPEN ACCESS

DOI: 10.25040/ntsh2024.01.11

Адреса для листування: вул. Пекарська, 69, м. Львів, Україна, 79010

Е-пошта: ihortrutiak@yahoo.com

Надійшла до редакції: 19.04.2024

Прийнята до друку: 03.05.2024

Опублікована: 28.06.2024

ORCID IDs

Ігор Трутяк:

<https://orcid.org/0000-0001-8157-3449>

Володимир Книгиницький:

<https://orcid.org/0009-0007-2354-8713>

Василь Малицький:

<https://orcid.org/0009-0005-6082-7549>

Іван Богдан:

<https://orcid.org/0000-0001-6974-4778>

Віталій Іващенко:

<https://orcid.org/0000-0002-4132-1447>

Василь Трунквальтер:

<https://orcid.org/0000-0002-4007-0041>

Конфлікт інтересів: автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Особистий внесок авторів:

Створення концепції: Ігор Трутяк;

Результати дослідження: Володимир Книгиницький, Василь Малицький, Іван Богдан;

Написання: Ігор Трутяк, Василь Малицький, Віталій Іващенко, Василь Трунквальтер;

Редагування та затвердження остаточного варіанту: Ігор Трутяк, Володимир Книгиницький, Іван Богдан.

Дозвіл комісії з питань біоетики: біоетична експертиза ЛНМУ ім. Данила Галицького, протокол № 11 від 19.12.2022 р.

Фінансування: автори не отримали жодної фінансової підтримки свого дослідження.



© Всі автори, 2024

Місцеві ускладнення резидуальних верхніх та нижніх кінцівок у постраждалих з бойовою травмою

Ігор Трутяк^{1,2}, Володимир Книгиницький²,
Василь Малицький², Іван Богдан², Віталій Іващенко¹,
Василь Трунквальтер¹

¹Львівський національний медичний університет імені Данила Галицького, Львів, Україна
²Військово-медичний клінічний центр Західного регіону, Львів, Україна

Вступ. Сучасна бойова травма кінцівок характеризується масивними ушкодженнями м'яких тканин і кісткових структур, що часто унеможлиблює збереження пораненої кінцівки і виникає потреба в її ампутації. Проте ряд ампутуваних мають больовий синдром в резидуальній кінцівці і не можуть користуватись протезами.

Мета. Проаналізувати місцеві ускладнення, причини больового синдрому в резидуальних кінцівках та способи їх лікування.

Методи дослідження. Під нашим спостереженням було 285 військовослужбовців з больовим синдромом в резидуальній кінцівці після бойового її ушкодження, з них у 151 (53%) – були невроми, а у 108 (38%) – гетеротопічна осифікація та остеофіти. Всі особи чоловічої статі. Середній вік – 36,13±8,64 років. Інтенсивність больового синдрому за шкалою The Defense and Veterans Pain Rating Scale (DVPRS) становила від 4 до 10 балів.

Результати. Лікування персистуючого болю в куксі анальгетичними середниками не було ефективним. Ін'єкційні алко-

гольні денервації невром, які виконані у 69 (24,2%) пацієнтів були ефективні при больовому синдромі інтенсивністю до 6 балів за шкалою DVPRS. Резекція невроми була ефективною у 77% пацієнтів, проте у 23% – зберігалась сенситизація. Повторний больовий синдром з меншою інтенсивністю, спостерігали у 30% після резекції невроми, роздавлювання кукси нерва затискачем з діатермокоагуляцією та спиртовою блокадою. Доповнення цих хірургічних маніпуляцій перев'язкою кукси нерва шовним матеріалом знижувало рецидиви невром до 10%. Найкращі результати хірургічного лікування невром з больовим синдромом 6 балів і більше за шкалою DVPRS отримали після їх резекції і застосування регенеративного інтерфейса периферійного нерва (RPNI) у 25 пацієнтів. У цих пацієнтів протягом 2 місяців після операції не було рецидиву больового синдрому. Гетеротопічна осифікація найчастіше виникала у постраждалих з мінно-вибуховими пораненнями в куксах на рівні стегна через 2 – 6 місяців після ампутації кінцівки, а після простої резекції остеофітів виникав рецидив. Після виконання міодезу у 18 пацієнтів рецидиву гетеротопічної осифікації не було протягом року спостережень.

Висновки. У військовослужбовців з резидуальними кінцівками невроми периферійних нервів і гетеротопічна осифікація є основними причинами больового синдрому в пізньому періоді після ампутації. Найбільш ефективним методом хірургічного лікування невром в резидуальній кінцівці є резекція невроми і регенеративний інтерфейс периферійного нерва, а міодез попереджує утворення гетеротопічної осифікації.

Local complications of residual upper and lower limbs in combatants

Ihor Trutyak^{1,2}, Volodymyr Knyhynytskyi², Vasyl Malytskyi², Ivan Bohdan², Vitaliy Ivashchenko¹, Vasyl Trunkvalter¹

¹*Danylo Halytsky Lviv National Medical University, Lviv, Ukraine*

²*Lviv Military Medical Clinical Center of the Western Region, Lviv, Ukraine*

Introduction. Contemporary combat limb injury is characterized by massive soft tissues and bone structures, which often makes it impossible to save the injured extremity and need for its amputation. However, a number of amputees have pain syndrome in the residual limb and cannot use prostheses.

Objective. To analyze local complications, causes of residual limb pain syndrome, and methods of their treatment.

Methods. We observed 285 combatants with residual limb pain syndrome after its combat injury, of which 151 (53%) had neuromas and 108 (38%) had heterotopic ossification and osteophytes. All individuals were male. The average age was 36.13±8.64 years. The intensity of the pain syndrome according to the Defense and Veterans Pain Rating Scale (DVPRS) ranged from 4 to 10 points.

Results. Treatment of persistent pain in the stump with analgesics was not effective. Denervation of neuromas using alcohol injections, performed in 69 (24.2%) patients, was effective in pain syndrome intensity up to 6 points on the DVPRS scale. Neuroma resection was effective in 77% of patients, but sensitization persisted in 23%. Recurrent pain syndrome with lower intensity was observed in 30% after neuroma resection, nerve stump compression with cauterization and alcohol blockade. Addition these procedures with the nerve stump suture, reduced neuroma recurrences by up to 10%. The best results of surgical treatment of neuromas with pain syndrome of 6 points and more on the DVPRS scale were obtained after their resection and the use of regenerative peripheral nerve interface (RPNI) in 25 patients. These patients had no recurrence of pain syndrome within 2 months after surgery. Heterotopic ossification most often occurred in patients with mine-explosive injuries in the thigh stumps 2-6 months after limb amputation and recurrence after simple resection of osteophytes. After performing myodesis in 18 patients there was no recurrence of heterotopic ossification within a year of observation.

Conclusions. Neuromas of peripheral nerves and heterotopic ossification are the main causes of pain syndrome in late period after amputation in combatants with residual limbs. The most effective methods of surgical treatment of neuromas in residual limbs is neuroma resection and regenerative peripheral nerve interface. Myodesis prevents the formation of heterotopic ossification.

Keywords: Limb amputation, peripheral nerve neuroma, heterotopic ossification, regenerative peripheral nerve interface, myodesis.

OPEN ACCESS

DOI: 10.25040/ntsh2024.01.11

For correspondence: Pekarska st, 69, Lviv, Ukraine, 79010

E-mail: ihortrutiak@yahoo.com

Received: 19 Apr, 2024

Accepted: 03 May, 2024

Published: 28 Jun, 2024

ORCID IDs

Ihor Trutyak:

<https://orcid.org/0000-0001-8157-3449>

Volodymyr Knyhynytskyi:

<https://orcid.org/0009-0007-2354-8713>

Vasyl Malytskyi:

<https://orcid.org/0009-0005-6082-7549>

Ivan Bohdan:

<https://orcid.org/0000-0001-6974-4778>

Vitaliy Ivashchenko:

<https://orcid.org/0000-0002-4132-1447>

Vasyl Trunkvalter:

<https://orcid.org/0000-0002-4007-0041>

Disclosures: The authors declared no conflict of interest.

Author contributions:

Conceptualization: Ihor Trutyak;

Results of study: Volodymyr Knyhynytskyi, Vasyl Malytskyi, Ivan Bohdan;

Writing: Ihor Trutyak, Vasyl Malytskyi, Vitaliy Ivashchenko, Vasyl Trunkvalter;

Review & editing: Ihor Trutyak, Volodymyr Knyhynytskyi, Ivan Bohdan.

Ethical approval: The bioethics committee of Danylo Halytsky Lviv National Medical University, protocol № 11 of 19.12.2022.

Funding: The authors received no financial support for their study.



© All authors, 2024

Ключові слова: ампутація кінцівки, неврома периферійного нерва, гетеротопічна осифікація, регенеративний інтерфейс периферійного нерва, остеоміодез.

Вступ

Десятирічний досвід війни на території України дозволяє проаналізувати певні наслідки бойової травми у військових, зокрема ушкоджень кінцівок. В іноземній літературі наведені дані про лікування бойової травми кінцівок та безпосередні і віддалені ускладнення за матеріалами війни в Іраку і в Афганістані, а також під час локальних воєнних конфліктів. Сучасна бойова травма кінцівок є більш тяжкою, характеризується масивними ушкодженнями м'яких тканин і кісткових структур, що часто унеможлиблює збереження пораненої кінцівки або ж виникають гнійно-некротичні ускладнення, які є життєво небезпечними і потребують ампутації [1]. Більшість ампутацій при бойовій травмі кінцівок виконується в невідкладному порядку на другому рівні надання медичної допомоги і носять характер первинної хірургічної обробки (дебрідмент). Остаточне формування кукси у таких пацієнтів і відновлення функції резидуальної кінцівки створює неабиякі виклики перед хірургами, протезистами і реабілітологами.

У 2016 R.A. Nyada et al. (2016) був проведений аналіз якості життя військовослужбовців після тяжкої бойової травми нижніх кінцівок отриманої на війні в Іраку і в Афганістані, який показав кращі результати у тих поранених, які мали ампутувані кінцівки, ніж у тих, в яких кінцівки були збережені [2]. Проте, слід врахувати, що у 20-40% постраждалих виникають інфекційні ускладнення в ампутаційній куксі [3], а у 63-65% – гетеротопічні осифікації [4, 5]. Ряд ампутуваних не можуть користуватись протезами через больовий синдром в резидуальній кінцівці [6], який M.H. Ebrahimpzadeh and S. Hariri (2009) спостерігали у 42%, а H.E. Bourke et al (2011) – у 70% [7, 8]. Власне больовий синдром значно знижує якість життя багатьох поранених військовослужбовців з ампутуваними кінцівками. E.E. Low et al (2017) проаналізували 2879 пацієнтів, які мали ампутації нижніх кінцівок після травматичних ушкоджень і виявили високий рівень ускладнень, а 41,8% з них повинні були пройти принаймні одну повторну ревізійну ампутацію [9].

Найбільш частою причиною больового синдрому є неврони магістральних чи поверхневих нервів в резидуальній кінцівці. Для зменшення больового синдрому S.C. Linton et al. (2024) рекомендують виконувати інтраопераційну кріоабляцію, яка повинна забезпечити ефективно знеболення [10].

Матеріал та методи

Під нашим спостереженням знаходилося 285 військовослужбовців із ампутуваною нижньою або верхньою кінцівкою після бойового її ушкодження і з больовим синдромом в куксі кінцівки, які лікувались впродовж 2022-2023 років. Пацієнти, які мали незначний біль в резидуальній кінцівці, а також ізольований фантомний біль та фантомні відчуття у вибірку не були включені. Всі були особами чоловічої статі. Середній вік становив $36,13 \pm 8,64$ років. Ампутації на рівні нижньої третини гомілки мали 9 (3,2%), середньої третини гомілки – 57 (20,3%), верхньої третини гомілки – 42 (14,8%), нижньої третини стегна – 28 (9,3%), середньої третини стегна – 55 (19,3%), верхньої третини стегна – 15 (5,3%), екзартикуляції – 1 (0,4%). Ампутації на рівні нижньої третини передпліччя мали 3 (1%), середньої третини передпліччя – 10 (3,5%), верхньої третини передпліччя – 13 (4,6%), нижньої третини плеча – 23 (8,2%), середньої третини плеча – 15 (5,3%), верхньої третини плеча – 4 (1,4%), екзартикуляції плечового суглоба – 3 (1%). Ампутації на різних рівнях стопи були у 7 пацієнтів (2,5%). У 10 пацієнтів (3,5%) були ампутувані дві нижні кінцівки, 4 пацієнти (1,4%) мали відсутність обох верхніх кінцівок. У 13 пацієнтів (4,6%) були місцеві ускладнення ампутаційних кукс з ознаками інфікування. Унеможлилювали протезування хибні кукси – у 12 (4,2%), надлишок м'яких тканин – у 6 (2,1%), незручний для протезування рівень ампутації – у 48 (16,8%), глибока інфекція і виразка кукси – у 2 (0,7%), неврони – у 151 (53%), гетеротопічна осифікація та остеофіти – 108 (38%).

Результати та їх обговорення

Причиною больового синдрому в ранньому періоді після ампутації кінцівки був набряк

Introduction

The ten-year experience of the war in Ukraine allows us to analyze certain consequences of combat trauma in the military, particularly limb injuries. Literature provides data on the treatment of combat limb trauma and immediate and late complications based on the materials of the war in Iraq and Afghanistan, as well as during local military conflicts. Modern combat limb trauma is more severe, characterized by massive soft tissue and bone injuries, which often makes it impossible to save the injured limb or purulent-necrotic complications occur, which are life-threatening and require amputation [1]. The majority limb amputations in the cases of combat injuries are performed urgently at the second role of medical care and are of the primary debridement nature. The final formation of the stump in such patients and the restoration of residual limb function create significant challenges to surgeons, prosthetists and rehabilitation specialists.

In 2016, R.A. Hyada et al. (2016) analyzed a quality of life of combatants after severe combat trauma of the lower extremities sustained in the Iraq and Afghanistan, which showed better outcomes in those injured who had limbs amputated than those in whom the limbs were preserved [2]. However, it should be noted that 20-40% of the injured have infectious complications in the amputation stump [3], and 63-65% have heterotopic ossifications [4, 5]. Some amputees cannot use prostheses due to residual limb pain syndrome [6], which M.H. Ebrahimzadeh and S. Hariri (2009) observed in 42%, and H.E. Bourke et al. (2011) observed in 70% [7, 8]. Residual limb pain syndrome significantly reduces the quality of life for many wounded combatants with amputated limbs. E.E. Low et al. (2017) analyzed 2879 patients who underwent lower limb amputations after traumatic injuries and found a high rate of complications, and 41.8% of them requiring at least one revision amputation [9].

The most common cause of pain syndrome is neuromas of major or superficial nerves in the residual limb. To reduce pain syndrome, S.C. Linton et al. (2024) recommend performing intraoperative cryoablation, which should provide effective analgesia [10].

Materials and Methods

Our study included 285 servicemen with amputated upper or lower limb after combat injury and with residual limb pain syndrome, who were treated during 2022-2023 years. Patients, who had minor pain in the residual limb, as well as isolated phantom pain and phantom sensations, were not included in the sample. All patients were male. The average age was 36.13 ± 8.64 years.

There were 9 (3.2%) lower leg amputations, 57 (20.3%) middle leg amputations, 42 (14.8%) upper leg amputations, 28 (9.3%) lower thigh amputations, 55 (19.3%) middle thigh amputations, 15 (5.3%) upper thigh amputations and 1 (0.4%) – disarticulation. Amputations at various levels of the forearm included 3 (1%) at the lower third, 10 (3.5%) at the middle third, 13 (4.6%) at the upper third, 23 (8.2%) at the lower third of the arm, 15 (5.3%) at the middle third of the arm, 4 (1.4%) at the upper third of the arm, and 3 (1%) shoulder disarticulations. Amputations at different levels of the foot were observed in 7 patients (2.5%). Ten patients (3.5%) had two lower limbs amputated, 4 patients (1.4%) had bilateral upper limbs missing. 13 patients (4.6%) had local complications of amputation stumps with signs of infection. False stumps made prosthetics impossible in 12 (4.2%), excess soft tissue – in 6 (2.1%), inconvenient amputation level – in 48 (16.8%), deep infection and stump ulcer – in 2 (0.7%), neuromas – in 151 (53%), heterotopic ossification and osteophytes – in 108 (38%).

Results and Discussion

This section may be divided by subheadings. It should provide a concise and precise description of the experimental results, their interpretation, as well as the experimental conclusions that can be drawn.

The cause of the pain syndrome in the early period after limb amputation was stump swelling, local infectious complications and soft tissue necrosis. These complications occurred more frequently in individuals who had neurovascular injuries and compartment syndrome, which correlates with studies by E.E. Low et al. (2017), who observed local stump complications three times more often in patients with compartment syndrome [9]. Therapeu-

кукси, місцеві інфекційні ускладнення і некроз м'яких тканин. Ці ускладнення частіше виникали у постраждалих, в яких були нейроваскуляторні ушкодження і компартмент-синдром, що корелює із дослідженнями E.E. Low et al (2017), які спостерігали місцеві ускладнення кукс в 3 рази частіше у пацієнтів з компартмент-синдромом [9]. Терапевтичні процедури, хірургічне і медикаментозне лікування у таких пацієнтів було ефективним.

Комплексного лікування у фахівців різних спеціальностей потребували пацієнти з пізніми місцевими ускладненнями, які супроводжувались больовим синдромом і унеможлилювали користування протезом, а саме невроми і гетеротопічна осифікація.

Окрім загального клінічного обстеження, оцінку больового синдрому проводили за шкалою The Defense and Veterans Pain Rating Scale (DVPRS), яка була створена у 2010 році для оцінки інтенсивності гострого і хронічного болю серед поранених військовослужбовців та ветеранів і використовується в лікарнях Управління охорони здоров'я ветеранів США [11]. Ця шкала включає базовий кольоровий код, оцінку візуального виразу обличчя і словесних дескрипторів. Зелений колір означає легкий біль за шкалою від 0 до 4, жовтий – помірний біль за шкалою від 5 до 6, а червоний – сильний біль за шкалою від 7 до 10. Доповнює базовий кольоровий код бальна шкала словесних дескрипторів: 0 – немає болю, 1 – незначний біль, 2 – біль, який не відволікає, 3 – дещо відволікаючий біль, 4 – відволікаючий біль, який не впливає на нормальну діяльність, 5 – біль перериває деякі дії, 6 – важко ігнорувати біль під час повсякденної діяльності, 7 – біль є основним центром уваги, заважає щоденній діяльності, 8 – сильний біль, важко щось-небудь зробити, 9 – нестерпний біль, нічого не можу зробити, 10 – нестерпний біль, усе інше не має значення.

Інтенсивність болю в ампутованій кінцівці за шкалою DVPRS у наших пацієнтів була від 4 до 10 балів.

У 101 пацієнта (36,4%) пацієнта спостерігався соматичний біль в куксі, 114 (41,1%) пацієнтів мали нейропатичний біль в рези-

дуальній кінцівці. Характер нейропатичного больового синдрому встановлювали за результатами неврологічного обстеження. У 63 (22,5%) пацієнтів больовий синдром був викликаний і соматичними, і нейропатичними причинами (Рис. 1).

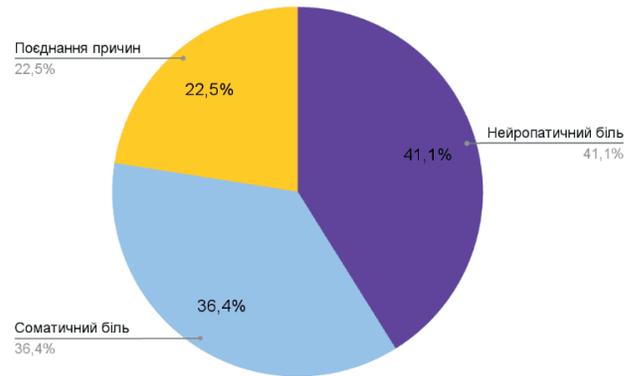


Рисунок 1. Структура характеру больових синдромів в резидуальній кінцівці серед військовослужбовців після ампутації

Ультразвукове дослідження кукси було основним методом діагностики і локалізації термінальних невром периферійних нервів, відношення їх до м'яких тканин і кісткових структур, втягнення в рубцеві тканини, наявність запальних змін. Рентгенографія кукси дозволила виявити остеофіти, гетеротопічну осифікацію, величину надлишку чи нестачу м'яких тканин, діагностувати хибну куксу.

Лікування персистуючого болю в куксі анальгетичними середниками не було ефективним. Це створило передумови пошуку інших стратегій лікування.

Ін'єкційні алкогольні денервації невром виконані у 69 (24,2%) пацієнтів, з яких у 43 – за первинними показаннями, а у 26 – з приводу рецидиву болю після резекції невром. Повторну лідокаїн-алкогольну ін'єкцію при болючих невромах виконали у 6 пацієнтів (8,7%). Спирт викликав хімічний невроліз внаслідок Валлерівської дегенерації і пригнічував нейротрансмісію. Через 3-6 місяців після лідокаїн-алкогольних ін'єкцій нейропатичний біль в куксі був значно нижчий. Проте при сильному больовому синдромі, більше 6 балів за шкалою DVPRS, ін'єкційні методики не допомагали.

tic procedures, surgical and drug treatment in such cases was effective.

Neuromas and heterotopic ossification were the main causes of late local complications, which were accompanied by a pain syndrome and made it impossible to use prosthesis.

In addition to a general clinical examination, the pain syndrome was assessed using The Defense and Veterans Pain Rating Scale (DVPRS), which was created in 2010 to assess the intensity of acute and chronic pain among wounded military personnel and veterans and is used in hospitals of the Veterans Health Administration USA [11]. This scale includes a basic color code, visual facial expression assessment, and verbal descriptors. Green indicates mild pain on a scale of 0 to 4, yellow indicates moderate pain on a scale of 5 to 6, and red indicates severe pain on a scale of 7 to 10. The basic color code is supplemented by a verbal descriptor scale: 0 – no pain, 1 – hardly notice pain, 2 – notice pain does not interfere with activities, 3 – sometimes distracts pain, 4 – distracts me pain, can do usual activities, 5 – pain interrupts some activities, 6 – hard to ignore avoid usual activities, 7 – pain is the main focus of attention, prevents doing daily activities, 8 – awful pain, difficult to do anything, 9 – cannot bear the pain, unable to do anything, 10 – as bad as it could be, nothing else matters.

The intensity of pain in the amputated limb according to the DVPRS scale in our patients was from 4 to 10 points.

101 patients (36.4%) had somatic pain in the stump, 114 patients (41.1%) – had neuropathic pain in the residual limb. The nature of neuropathic pain syndrome was determined based on the results of neurological examination. In 63 (22.5%) patients, the pain syndrome was caused by both somatic and neuropathic reasons. (Fig. 1).

Ultrasonography of the residual limb was the main diagnostic method for localization of peripheral nerves terminal neuromas, assessing their relation to soft tissues and bone structures, involvement in scar tissue, and presence of inflammatory changes. X-ray examination of the residual limb allowed for the detection of osteophytes, heterotopic ossifi-

cation, the amount of excess or deficiency of soft tissues and to diagnose of a residual limb deformity.

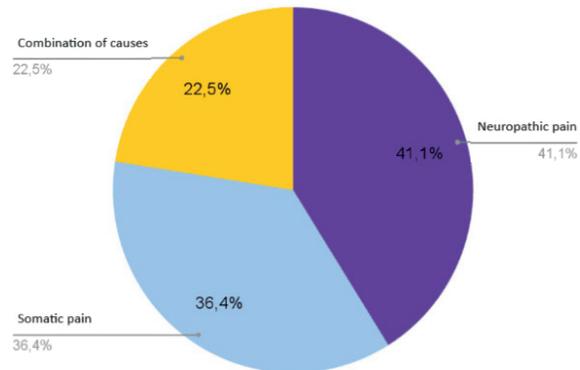


Figure 1. The pain syndromes structure in the residual limb among combatants after amputation

Treatment of persistent pain in the residual limb with analgesics was not effective. This created the conditions for search other treatment strategies.

Denervation of neuromas using alcohol injections were performed in 69 patients (24.2%), of which 43 performed for primary indications and 26 had recurrent pain after neuroma resection. Repeated lidocaine-alcohol injections for painful neuromas were performed in 6 patients (8.7%). Alcohol induced chemical neurolysis due to Wallerian degeneration and inhibited neurotransmission. Three to six months after lidocaine-alcohol injections, neuropathic pain in the residual limb was significantly lower. However, for severe pain syndrome, more than 6 points on the DVPRS scale, injection techniques were not effective.

Primary resections of terminal neuromas were performed in 82 patients. From 1 to 4 terminal neuromas of peripheral nerves were removed from each of them (Fig. 2).

Regardless of the resection technique, 77% of patients noted a reduction in pain sensations and improvement in quality of life after surgery. However, persistence of sensitization was observed in 23% of cases.

In 27 patients after resection of neuroma, the stump of the nerve was crushed with a clamp, cautery and alcohol block were performed.

Первинні резекції термінальних невром виконано у 82 пацієнтів. У кожного з них видалили від 1 до 4 термінальних невром периферійних нервів (Рис. 2).



Рисунок 2. Видалені неврони периферійних нервів резидуальних кінцівок

Незалежно від методики резекції, 77% пацієнтів після операції відзначили зниження больових відчуттів і покращення якості життя. Проте збереження сенситизації спостерігали у 23% випадків.

У 27 пацієнтів після резекції неврони куксу нерва роздавливали затискачем, проводили її діатермокоагуляцію та спиртову блокаду. З них у 8 (30%) – спостерігали повторний розвиток болючих термінальних невром з інтенсивністю болю менше 6 балів за шкалою DVPRS. Цим пацієнтам в подальшому була виконана алкогольна денервація під УЗД-контролем з добрим клінічним ефектом.

У 30 пацієнтів після резекції неврони куксу нерва роздавливали затискачем, проводили її діатермокоагуляцію, спиртову блокаду та перев'язували шовним матеріалом. У цій групі повторні болючі термінальні неврони з інтенсивністю болю менше 6 балів за шкалою DVPRS виникли у 3 (10%), яким в подальшому проведена алкогольна денервація під УЗД-контролем.

Найкращі результати хірургічного лікування невром отримали при застосуванні регенеративного інтерфейса периферійного нерва (RPNI) у 25 пацієнтів із термінальними невромами і больовим синдромом 6 балів і більше за шкалою DVPRS. Техніка операції полягала у резекції неврони і зануренні пересіченого

нерва в аутологічний вільний м'язовий клапоть (Рис. 3).



Рисунок 3. Регенеративний інтерфейс периферійного нерва (RPNI) після резекції неврони

Цей метод був розроблений колективом хірургів Мічиганського Університету в 2016-2021 роках для ампліфікації передачі нервового сигналу з ампутованої кінцівки до нейропротезу. Він також проявив ефективність в попередженні утворення вторинних болісних невром кукси кінцівки. Спостереження за нашими пацієнтами протягом 2 місяців після операції не виявили рецидиву больового синдрому.

Гетеротопічна осифікація – це розростання і окостеніння мезенхімальних клітин з кісткового мозку, які поширюються в м'яких тканинах поблизу окістя навколо ампутованої кістки [12, 13]. Механізм гетеротопічної осифікації остаточно не з'ясований. Відомо, що сприяють гетеротопічній осифікації масивні ушкодження м'яких тканин, ішемія м'язів, кісткові уламки, девіталізовані тканини, гематома, інфекція [14]. Mitchell EJ et al (2010) вважають, що на розвиток гетеротопічної осифікації мають вплив генетичні чинники [15].

Ризик утворення гетеротопічної осифікації в резидуальній кінцівці у наших пацієнтів залежав від механізму бойової травми і від рівня ампутації. Найчастіше гетеротопічна осифікація розвивалась у постраждалих після мінно-вибухового поранення і в куксах на рівні стегна. Терміни утворення цього ускладнення, з яким звертались ампутовані, становили від 2 до 6 місяців після ампутації кінцівки (Рис. 4).

Among them, in 8 (30%), a recurrence of painful terminal neuromas was observed with a pain intensity of less than 6 points on the DVPRS scale. These patients subsequently underwent alcohol denervation under ultrasound control with good clinical effect.



Figure 2. Removed neuromas of the peripheral nerves in residual limbs

In 30 patients after neuroma resection, the nerve stump was crushed with a clamp, cautery, alcohol block, and nerve suture were performed. In this group, recurrent painful terminal neuromas with pain intensity less than 6 points on the DVPRS scale occurred in 3 (10%) cases, for whom subsequent alcohol denervation under ultrasound control was performed.

The best results of surgical treatment of neuromas were obtained with the use of regenerative peripheral nerve interface (RPNI) in 25 patients with terminal neuromas and a pain syndrome of 6 points or more on the DVPRS scale.

The surgical technique involved neuroma resection and the immersion of the transected nerve in the autologous free muscle flap. (Fig. 3).

This method was developed by a team of surgeons at the University of Michigan between in 2016-2021 to enhance the transmission of nerve signals from an amputated limb to a neuroprosthesis. It has also shown effectiveness in preventing the formation of secondary painful neuromas at the residual limb. Observation of our patients for 2 months after the surgery did not reveal a recurrence of the pain syndrome.



Figure 3. Regenerative Peripheral Nerve Interface (RPNI) after neuroma resection

Heterotopic ossification is the growth and ossification of mesenchymal cells from the bone marrow, which spread into soft tissues near periosteum around the amputated bone [12, 13].

The mechanism of heterotopic ossification is not been fully elucidated. Massive soft tissue damage, muscle ischemia, bone fragments, devitalized tissues, hematoma and infection are known to contribute to heterotopic ossification [14]. Mitchell EJ et al (2010) suggest that genetic factors influence the development of heterotopic ossification [15].

The risk of heterotopic ossification formation in the residual limb in our patients depended on the mechanism of combat trauma and the level of amputation. Most often, heterotopic ossification developed in individuals after mine-explosive injury and in residual limbs at the hip level.

The timing of the development of this complication, with which amputees applied, was from 2 to 6 months after limb amputation (Fig. 4).

We did not find a dependence between the development of heterotopic ossification and the number of surgical interventions in the wounded, but all these patients had severe and massive tissue damage in the amputated limb. A possible favorable factor in the development of heterotopic ossification may be multiple surgical procedures and long-term wound treatment with negative pressure therapy.



Рисунок 4. Гетеротопічна осифікація кукси стегнової кістки

Ми не знайшли залежності розвитку гетеротопічної осифікації від кількості хірургічних втручань у пораненого, але у всіх цих пацієнтів були тяжкі і масивні ушкодження тканин в ампутованій кінцівці. Можливим сприятливим чинником розвитку гетеротопічної осифікації є чисельні хірургічні обробки і тривале лікування рани терапією негативним тиском. Проте ці методи застосовували при значних ушкодженнях тканин у пораненого і ускладненому перебігу ранового процесу, що може бути основною причиною розвитку гетеротопічної осифікації.

Гетеротопічна осифікація викликала больовий синдром і неможливість користуватись протезом. Традиційним методом лікування цього ускладнення було видалення кісткових розростань, терапія нестероїдними протизапальними препаратами і рентгенотерапія. Проте у 8 пацієнтів після видалення остеофітів наступив рецидив гетеротопічної осифікації, що потребувало повторної операції.

Зменшити ризики гетеротопічної осифікації дозволяє ретельне заокруглення стегно-

вої кістки, мінімальна травматизація м'яких тканин і уникнення гематом та профілактика інфікування рани [16]. Перспективним методом профілактики гетеротопічної осифікації після трансфemorальної ампутації є виконання міодезу (Рис. 5).

Методика полягає у циркулярній фіксації привідного м'яза стегна до кукси стегнової

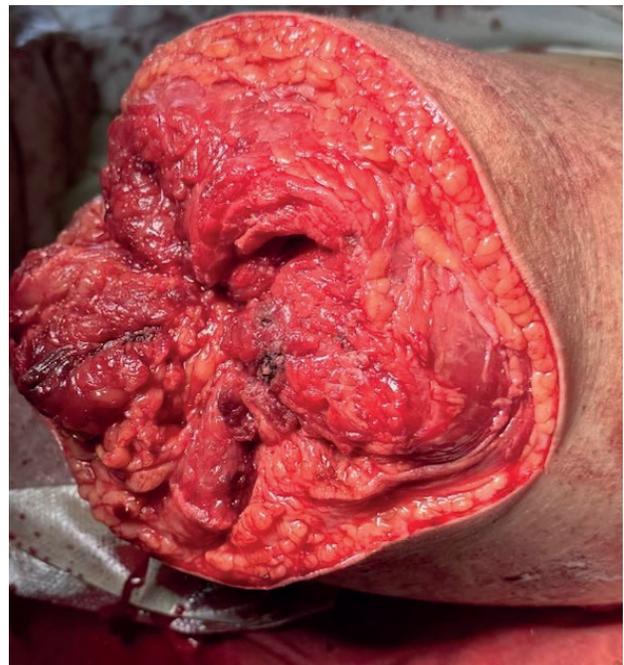
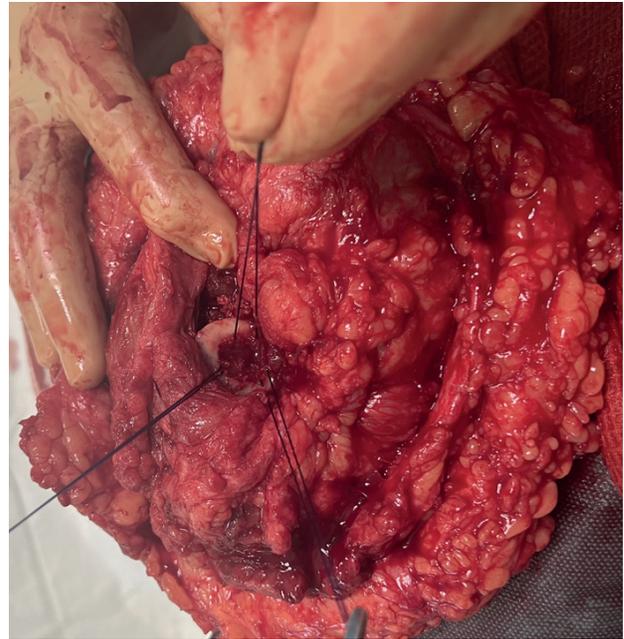


Рисунок 5. Міодеза після видалення кісткових розростань у пацієнта з трансфemorальною ампутацією стегна



Figure 4. Heterotopic ossification of the femoral stump

However, these methods were used in cases of significant tissue damage in the wounded and complicated wound healing, which may be the main reason for the development of heterotopic ossification.

Heterotopic ossification caused pain syndrome and the inability to use a prosthesis. The traditional method of treating of this complication was the removal of bony growths, therapy with non-steroidal anti-inflammatory drugs, and X-ray therapy. However, in 8 patients, after the removal of osteophytes, recurrence of heterotopic ossification occurred, which required repeated surgery.

The risks of heterotopic ossification can be reduce by careful rounding of the femur, minimal soft tissues traumatization, avoiding hematomas, and prevention of wound infection [16].

A promising method for preventing heterotopic ossification after transfemoral amputation is myodesis (Fig. 5).

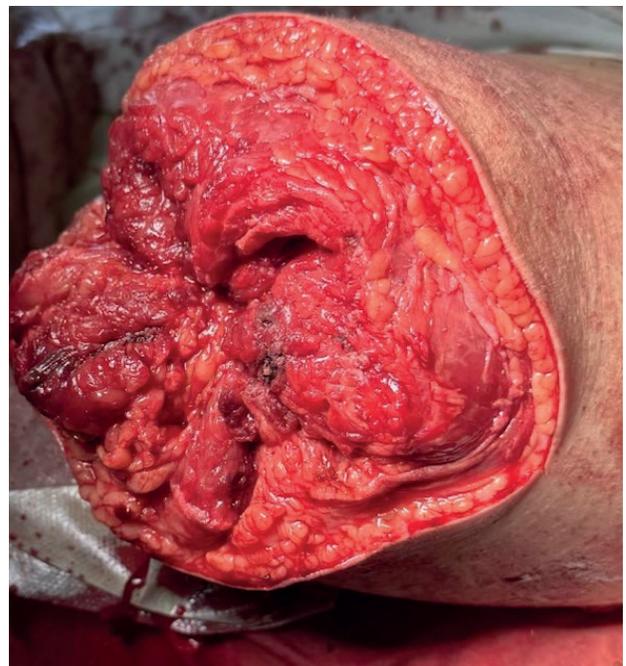
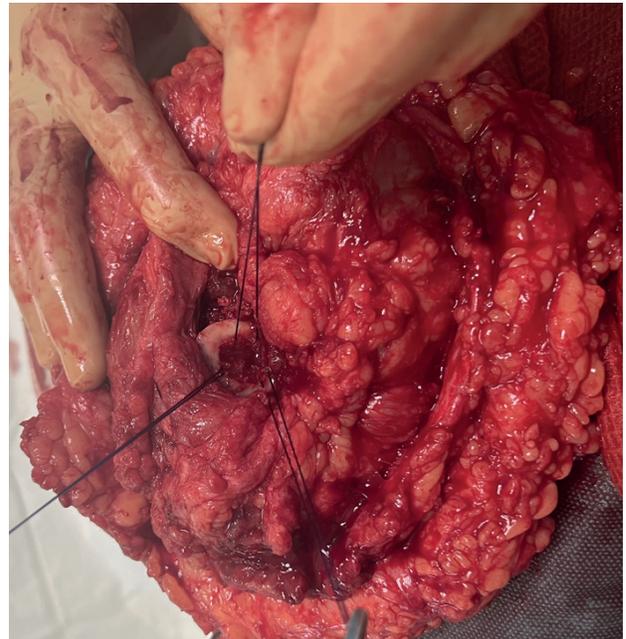


Figure 5. Myodesis after removal of bony growths in a patient with transfemoral hip amputation

The technique involves circular thigh adductor muscle fixation to the femoral stump, using transosseous sutures with immersion of the muscle into the bone marrow canal. This prevents excessive hip abduction and flexion by the abductor muscles, creates a dynamic muscle balance, and improves prosthesis fit and function. Observations of our 18 patients

кістки черезкістковими швами із зануренням м'яза в кістково-мозковий канал. Це попереджує надмірне відведення і згинання стегна відвідними м'язами, створює динамічний м'язовий баланс і покращує пристосування та функцію протеза. Спостереження за нашими 18 пацієнтами протягом року показали, що після міодезу гетеротопічної осифікації у них не було.

У висновках: причинами больового синдрому в ранньому періоді після ампутації кінцівки є набряк кукси, місцеві інфекційні ускладнен-

ня і некрози м'яких тканин, які ефективно лікуються хірургічними методами в комплексі з терапевтичними процедурами і медикаментами. Найбільш ефективним методом хірургічного лікування симптоматичних болісних термінальних невром є регенеративний інтерфейс периферійного нерва. Перспективним методом профілактики гетеротопічної осифікації і її рецидивів після трансфеморальної ампутації є виконання міодезу.

Список літератури

1. Trutyak I, Malickii V, Samotowka M, Trunkvalter V, Trutyak R, Ivaschenko V. Problematic issues of limb amputations in wounded with combat trauma Proc Shevchenko Sci Soc Med Sci [Internet]. 2023 Dec. 22 [cited 2023 Dec.26]; 72(2): <https://mspsss.org.ua/index.php/journal/article/view/883>.DOI:10.25040/ntsh2023.02.08
2. Hayda RA, Doukas WC, Andersen RC, Ficke JR. Outcomes of Amputations Versus Limb Salvages Following Military Lower Extremity Trauma. *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*. 2016; 4: 75-83.
3. Cannada LK, Vaidya R, Covey DC, Hanna K, Dougherty P. The traumatic lower extremity amputee: surgical challenges and advances in prosthetics. *Instr Course Lect*. 2013; 62: 3-15.
4. Forsberg JA, Pepek JM, Wagner S et al. Heterotopic ossification in high-energy wartime extremity injuries: prevalence and risk factors. *J. Bone Jt. Surg*. 2009; Am. 91: 1084–1091. doi:10.2106/JBJS.H.00792
5. Potter BK, Burns TC, Lacap AP, Granville RR, Gajewski DA. Heterotopic ossification following traumatic and combat-related amputations: Prevalence, risk factors and preliminary results of excision. *J Bone Joint Surg Am* 2007; 89(3): 476-486.
6. Knowlton LM, Gosney JE, Chackungal S, et al. Consensus Statements Regarding the Multidisciplinary Care of Limb Amputation Patients in Disasters or Humanitarian Emergencies: Report of the 2011 Humanitarian Action Summit Surgical Working Group on Amputations Following Disasters or Conflict. *Pre-hospital and Disaster Medicine*. 2011 26(6): 1-10. doi:10.1017/S1049023X12000076
7. Bourke HE, Yelden KC, Robinson KP, Sooriakumaran S, Ward DA. Is revision surgery following lower-limb amputation a worthwhile procedure? A retrospective review of 71 cases. *Injury* 2011; 42: 660–666.
8. Ebrahimzadeh MH, Hariri S. Long-term outcomes of unilateral transtibial amputations. *Mil Med* 2009;174(6): 593-597. doi: 10.7205/milmed-d-02-8907
9. Low EE, Inkellis E, Morshed S. Complications and revision amputation following trauma-related lower limb loss. *Injury*. 2017 Feb 1;48(2):364-70. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2016.11.019>
10. Linton SC, Tian Y, Zeineddin S, Alayleh A, De Boer C, Goldstein S, Ghomrawi H, Abdullah F. Intercostal Nerve Cryoablation Reduces Opioid Use and Length of Stay Without Increasing Adverse Events. A Retrospective Cohort Study of 5442 Patients Undergoing Surgical Correction of Pectus Excavatum. *Annals of Surgery*. 2024 April 279(4): 699-704. doi:10.1097/SLA.00000000000061132
11. Buckenmaier CC, Galloway KT, Polomano RC, McDuffie M, Kwon N, Gallagher RM. Preliminary validation of the Defense and Veterans Pain Rating Scale (DVPRS) in a military population. *Pain Medicine*. 2013 Jan 1;14(1):110-23.
12. Lounev VY, Ramachandran R, Wosczyzna MN, et al. Identification of progenitor cells that contribute to heterotopic skeletogenesis. *J Bone Joint Surg Am*. 2009; 91(3): 652–663. doi: 10.2106/JBJS.H.01177
13. Nesti LJ, Jackson WM, Shanti RM, et al. Differentiation potential of multipotent progenitor cells derived from war-traumatized muscle tissue. *J Bone Joint Surg Am*. 2008; 90(11): 2390–2398. doi: 10.2106/JBJS.H.00049
14. Ahmed SI, Burns TC, Landt C, Hayda, R. Heterotopic Ossification in High-Grade Open Fractures Sustained in Combat Risk Factors and Prevalence. *J Orthop Trauma*. 2013; 27(3): 162-169. doi: 10.1097/BOT.0b013e31825cf742
15. Mitchell EJ, Canter J, Norris P, et al. The genetics of heterotopic ossification: insight into the bone remodeling pathway. *J Orthop Trauma*. 2010; 24(9): 530–533. doi: 10.1097/BOT.0b013e3181ed147b
16. Hsu AR. Transfemoral Amputation Adductor Myodesis Using FiberTape and Knotless Anchors. *Foot Ankle Int*. 2018 Jul; 39(7): 874-879. doi: 10.1177/1071100718776041

for a year showed that they did not have heterotopic ossification after myodesis.

In conclusions: The causes of pain syndrome in the early period after limb amputation are stump swelling, local infectious complications and necrosis of soft tissues, which are effectively treated by surgical methods in combi-

nation with therapeutic procedures and medications. The most effective surgical procedure for treating symptomatic painful terminal neuromas is the regenerative peripheral nerve interface. Myodesis is a promising method of heterotopic ossification prevention and its recurrence after transfemoral amputation.

References

1. Trutyak I, Malickii V, Samotowka M, Trunkvalter V, Trutyak R, Ivaschenko V. Problematic issues of limb amputations in wounded with combat trauma Proc Shevchenko Sci Soc Med Sci [Internet]. 2023 Dec. 22 [cited 2023 Dec.26]; 72(2): <https://mspsss.org.ua/index.php/journal/article/view/883>.DOI:10.25040/ntsh2023.02.08
2. Hayda RA, Doukas WC, Andersen RC, Ficke JR. Outcomes of Amputations Versus Limb Salvages Following Military Lower Extremity Trauma. *Orthopaedics, Traumatology and Prosthetics*. 2016; 4: 75-83.
3. Cannada LK, Vaidya R, Covey DC, Hanna K, Dougherty P. The traumatic lower extremity amputee: surgical challenges and advances in prosthetics. *Instr Course Lect*. 2013; 62: 3-15.
4. Forsberg JA, Pepek JM, Wagner S et al. Heterotopic ossification in high-energy wartime extremity injuries: prevalence and risk factors. *J. Bone Jt. Surg*. 2009; Am. 91: 1084–1091. doi:10.2106/JBJS.H.00792
5. Potter BK, Burns TC, Lacap AP, Granville RR, Gajewski DA. Heterotopic ossification following traumatic and combat-related amputations: Prevalence, risk factors and preliminary results of excision. *J Bone Joint Surg Am* 2007; 89(3): 476-486.
6. Knowlton LM, Gosney JE, Chackungal S, et al. Consensus Statements Regarding the Multidisciplinary Care of Limb Amputation Patients in Disasters or Humanitarian Emergencies: Report of the 2011 Humanitarian Action Summit Surgical Working Group on Amputations Following Disasters or Conflict. *Prehospital and Disaster Medicine*. 2011 26(6): 1-10. doi:10.1017/S1049023X12000076
7. Bourke HE, Yelden KC, Robinson KP, Sooriakumaran S, Ward DA. Is revision surgery following lower-limb amputation a worthwhile procedure? A retrospective review of 71 cases. *Injury* 2011; 42: 660–666.
8. Ebrahimzadeh MH, Hariri S. Long-term outcomes of unilateral transtibial amputations. *Mil Med* 2009;174(6): 593-597. doi: 10.7205/milmed-d-02-8907
9. Low EE, Inkellis E, Morshed S. Complications and revision amputation following trauma-related lower limb loss. *Injury*. 2017 Feb 1;48(2):364-70. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2016.11.019>
10. Linton SC, Tian Y, Zeineddin S, Alayleh A, De Boer C, Goldstein S, Ghomrawi H, Abdullah F. Intercostal Nerve Cryoablation Reduces Opioid Use and Length of Stay Without Increasing Adverse Events. A Retrospective Cohort Study of 5442 Patients Undergoing Surgical Correction of Pectus Excavatum. *Annals of Surgery*. 2024 April 279(4): 699-704. doi:10.1097/SLA.00000000000061132
11. Buckenmaier CC, Galloway KT, Polomano RC, McDuffie M, Kwon N, Gallagher RM. Preliminary validation of the Defense and Veterans Pain Rating Scale (DVPRS) in a military population. *Pain Medicine*. 2013 Jan 1;14(1):110-23.
12. Lounev VY, Ramachandran R, Wosczyzna MN, et al. Identification of progenitor cells that contribute to heterotopic skeletogenesis. *J Bone Joint Surg Am*. 2009; 91(3): 652–663. doi: 10.2106/JBJS.H.01177
13. Nesti LJ, Jackson WM, Shanti RM, et al. Differentiation potential of multipotent progenitor cells derived from war-traumatized muscle tissue. *J Bone Joint Surg Am*. 2008; 90(11): 2390–2398. doi: 10.2106/JBJS.H.00049
14. Ahmed SI, Burns TC, Landt C, Hayda, R. Heterotopic Ossification in High-Grade Open Fractures Sustained in Combat Risk Factors and Prevalence. *J Orthop Trauma*. 2013; 27(3): 162-169. doi: 10.1097/BOT.0b013e31825cf742
15. Mitchell EJ, Canter J, Norris P, et al. The genetics of heterotopic ossification: insight into the bone remodeling pathway. *J Orthop Trauma*. 2010; 24(9); 530–533. doi: 10.1097/BOT.0b013e3181ed147b
16. Hsu AR. Transfemoral Amputation Adductor Myodesis Using FiberTape and Knotless Anchors. *Foot Ankle Int*. 2018 Jul; 39(7): 874-879. doi: 10.1177/1071100718776041