

Тривале (упродовж 16 годин) застосування джгута в умовах бойового поранення: Клінічний випадок та огляд актуальної літератури

Лікар Джон Ф. Крех мол., доктор наук Девід Дж. Баер та доктор наук Томас Джей Уолтерс

[John F. Kragh, Jr, MD, David G. Baer, PhD, and Thomas J. Walters, PhD]

Анотація: Автори розглядають клінічний випадок невідкладного накладення джгута на незвичайно тривалий проміжок часу. Пацієнта було поранено під час бойових операцій, при цьому тривалий бій та процес евакуації призвели до значної затримки в наданні хірургічної допомоги пораненому. Невідкладне накладання джгутів може врятувати життя, проте воно є травматичною процедурою. Загалом рівень травматичності процедури накладання джгута зростає зі збільшенням тривалості застосування джгута. Незважаючи на те, що джгут не розпускали впродовж 16 годин, кінцівку вдалося врятувати, до того ж істотно відновити її функціональність. Автори здійснили перегляд опублікованих джерел, включаючи базу даних “Медлайн”, і пропонують огляд відповідних статей щодо невідкладного накладання джгута, травматичності накладеного джгута, а також паліативного лікування. З огляду на поширене застосування процедури накладання джгута під час військових операцій існує ймовірність частішого застосування цієї процедури у цивільній медицині. Тому важливо, щоб лікарі усвідомлювали травматичність джгутів, а також узяли до уваги той факт, що навіть тривале накладення джгута не обов’язково призводить до втрати пошкодженої кінцівки.

Ключові слова: джгут, ішемія, реперфузія, вогнепальне поранення.
(Вісник “Ортопедична травма” 2007;21:274-278)

Близько 50 % загиблих через бойові поранення вмирають внаслідок кровотечі, результатом якої стає знекровлювання, що є основною причиною смерті на полі бою (¹). На підставі даних про Другу світову війну, війну в Кореї та В’єтнамі Беллами зробив висновок про те, що 7 % смертей внаслідок знекровлювання сталися в результаті поранень кінцівок (²). Аналогічно, у конфліктах в Іраку та Афганістані, які наразі тривають, приблизно 2 % смертей спричинені ізольованими травмами кінцівок (Полковник Джон Б. Холкомб, лікар, неопубліковані дані). Починаючи із 17 століття, медики та особи, які надавали першу медичну допомогу, використовували процедуру накладання джгутів для порятунку життів пацієнтів з кровотечею кінцівок (2-4). Проте дуже мало наявної інформації стосовно тривалості накладання джгута в межах першої медичної допомоги в очікуванні доправлення до лікарні, перш ніж ускладнення типу пошкоджень, пов’язаних з ішемією-

реперфузією (I-P), почнуть створювати проблеми. Під час проведення планових ортопедичних хірургічних операцій хірурги, які використовують пневматичні джгути, дотримуються клінічних рекомендацій стосовно планування регулярних перерв для відновлення кровотоку (реперфузії) з метою продовження часу оперування в межах безпечного періоду застосування джгута. Однак існують істотні прогалини знань щодо ступеня ризиків для пацієнта (5) під час подібної практики. Проте термін так званого безпечного накладання джгута в операційній відрізняється від так званого безпечного накладання джгута в бойових умовах (6). Джгути, що застосовуються під час планових ортопедичних хірургічних втручань, є ширшими ніж ті, які застосовують на полі бою та використовують для знекровлювання ділянки тіла, на якій проводять хірургічну маніпуляцію, водночас джгути в бойових умовах накладаються з метою припинення кровотечі, яка загрожує життю людини. Зважаючи на такі обставини, як безперервні обстріли, тривалий час евакуації пацієнтів та обмежена можливість відстежувати їхній стан, на полі бою ризик травматичності накладання джгутів рідко переважає ризик втрати кінцівки, повторної кровотечі та смерті. Звіт про цей клінічний випадок та огляд літератури направлені на вивчення вірогідності існування інших, крім тривалості накладання джгута, факторів, які можуть впливати на тривалість періоду безперервного залишення джгута на кінцівці без втрати самої кінцівки.

КЛІНІЧНИЙ ВИПАДОК

Під час військових операцій у рамках Операції “Анаконда” (Афганістан) 37-річний чоловік з домінантною правою рукою пілотував вантажний гелікоптер “Чінок СН-47” та був поранений пулею невідомого калібру. Пуля пройшла крізь зап’ястя та великий палець, що призвело до рясної кровотечі. Пілот негайно посадив повітряне судно з допомогою другого пілота і швидко сильно затиснув рану, проте не зміг контролювати кровотечу. Після приземлення гелікоптер та військові на його борту продовжували перебувати під вогнепальним обстрілом з боку ворога, і пілот дістав ще одне поранення – лівої ноги, внаслідок вибуху та осколкового розриву реактивної гранати. За тридцять хвилин після отримання першого поранення пілот затяг військовий джгут (джгут шириною 50 мм, з пружинною застібкою) на своєму передпліччі. Впродовж перестрілки з ворогом, яка ще тривала, та однієї години після поранення джгут не допоміг повністю припинити кровотечу з рани. Спецвійськовий медик наклав на передпліччя імпровізований джгут, зроблений з двох краваток, штифта та пластикового шнура. Медик огорнув рану марлею та зробив першу перев’язку на полі бою. Він не зняв першого джгута. Вжиті заходи допомогли припинити кровотечу. Для запобігання шоку медик ввів у вену пацієнту розчини в невідомому обсязі та невідомого типу. За шість годин після поранення з рани на зап’ясті відновилася кровотеча, і другий медик затяг джгут щільніше і зміг знову зупинити кровотечу. Перестрілка

продовжувалась, обидва медики самі дістали поранень. Внаслідок своїх ран, продовження інтенсивного обстрілу з боку ворогів, необхідності надавати медичну допомогу ще й іншим пораненим, медики не мали можливості постійно слідкувати за станом пораненого пілота або надавати йому додаткове лікування. Гелікоптер приземлився на висоті 3000 м, температура повітря становила -15 °С. Першу половину дня рука та тіло пацієнта перебували за таких умов навколишнього середовища, впродовж цього часу пацієнт лежав долілиць у сніговому сугробі глибиною 1 метр. Через півдня з гелікоптера зрізали стьобаний звукоізолюючий матеріал та використали його як ковдри для солдатів, щоб захистити їх від вітру та холоду. У зв'язку з продовженням сутички, поганими погодними умовами та гірською місцевістю евакуацію поранених здійснили тільки через 16 годин після поранення. Отже, джгут залишався на місці накладення безперервно впродовж 16 годин, і його не розпускали допоки пацієнта не доправили до хірургічної бригади через 17 годин після поранення (Таблиця 1).

До хірургічного відділення пацієнт прибув у стабільному стані, без шоку або гіпотермії. Рани характеризувалися значною втратою м'яких тканин навколо променевої кістки, оголеними кістками та зв'язками зап'ястя, втратою першого каналу тильної зв'язки зап'ястя, враховуючи сухожилля, променеві артерію та вени, а також променевий аферентний нерв. Зважаючи на серйозну втрату м'яких тканин, променеву артерію визнали такою, що неможливо відновити. Авторам невідомо, чи залишилась неушкодженою ліктьова артерія та чи вона і надалі забезпечувала допоміжний кровообіг на момент проведення оцінки стану пацієнта в хірургічному відділенні, куди його доправили. Хоча тиск у каналі тильної зв'язки не заміряли, в пацієнта виник синдром підвищення тиску в цьому каналі, про що свідчить біль при пасивному розтягненні. Первинне хірургічне втручання складалося з видалення омертвілих тканин та промивання, перев'язування променевої артерії, трьох фасціотомій тильної сторони кисті, а також двох фасціотомій долоні з очевидним вирівнюванням тиску в тканинах. Згідно з післяопераційним висновком хірурга-ортопеда збереження кисті руки було малоймовірним. Пізніше пацієнта евакуювали з Афганістану, увесь процес тривав 5 днів. Впродовж цього часу періодично здійснювались перев'язування та оброблення рани. Після прибуття пацієнта до військового евакуаційного шпиталю у місті Ландштуль [Landstuhl] в Німеччині знову було здійснено видалення омертвілих тканин та промивання рани.

Згодом пацієнта перевезли до військового медичного центру Уолтер Рід [Walter Reed Army Medical Center], де йому знову провели видалення омертвілих тканин та промивали рану впродовж першого місяця перебування в цьому шпиталі. Рентгенівські знімки цього періоду свідчать про втрату шилоподібного відростка променевої кістки, переломи зап'ястних кісток в основі вказівного та великого пальців. Квадратний пронатус виявився здоровим та був використаний, щоб прикрити пошкодження кістки

шилоподібного відростка променевої кістки. Під час цих хірургічних операцій поступово переміщували м'які тканини, доки не вдалося здійснити пізні накладання швів. Жодних спроб відновити зовнішній м'яз, що розгинає великий палець, не проводили. Оскільки в пацієнта виник місцевий больовий синдром серединного нерва, було здійснено звільнення зап'ястного каналу хірургічним шляхом, симптоми зникли. Всеохопне та інтенсивне лікування кисті руки дало змогу позбутися незгинання та болю.

Таблиця 1. Істотні події та результати

Дата	Подія	Результат
4 березня 2002 року	Вогнепальне поранення	Праве передпліччя та великий палець частково розірвані, рясна кровотеча
5 березня 2002 року	Хірургічна санація рани	Фасціотомії. Зниження тиску тканин у тильних частинах кисті
10 березня 2002 року	Повторна санація рани	Рани чисті
23 жовтня 2002 року	Видалення проксимального ряду зап'ястного каналу	Залишковий біль
Лютий 2003 року	Звільнення зап'ястного каналу	Звільнення від болю
Травень 2004 року	Повернення до обов'язків пілота	Нормальне функціонування
Березень 2005 року	Останній медичний огляд	

[**Зображення 1.** Фотографія вогнепального поранення лівого зап'ястя після завершення первинної хірургічної маніпуляції, здійсненої першою хірургічною бригадою, до якої доправили пацієнта. Очевидними є втрата радіальних тканин та тильні фасціотомії. Рентгенівські знімки не вдалось сфотографувати.]

За сім з половиною місяців після поранення було здійснено видалення проксимального ряду зап'ястного каналу (карпектомію) з метою покращення гнучкості та рухомості голівки у серпоподібній ямці. За рік після поранення в пацієнта все ще були слабкими м'язи великого пальця та внутрішні м'язи руки, лікування тривало. У межах консервативного лікування зап'ястя, яке зазнало ушкодження, через рік після поранення було здійснено зрощення зап'ястя.

За три роки після поранення пацієнт майже відновив нормальну рухомість пальців, однак зап'ястя згиналося лише на 20 градусів, а Вісник «Ортопедична травма», Том 21, випуск 4, квітень 2007 року

розгиналося на 10. Пацієнтові вдавалося доторкнутись великим пальцем мізинця, але рухомість все одно була менш жвавою, ніж на іншій руці, оскільки гнучкість було відновлено не повною мірою. Пацієнт лише частково міг стиснути кисть руки в кулак, однак він виконував кистю більшу частину операцій повсякденного життя. Проте він був нездатний утримувати повну вагу тіла, коли віджимався рукою. У поверхневій частині променевого нерва захисна чутливість тильної сторони кисті була відсутня, а суміжні частини були гіперчутливими. Тестування м'язів лівої руки пацієнта на силу виявило 50 %, водночас тестування домінантної правої руки на робочій станції – 80 %. Перевірка спритності обох рук виявила майже однакові результати. Функція кисті руки пацієнта відновилась достатньою мірою, щоб він зміг повернутись до пілотування, в тому числі пілотування гелікоптерів. Автори не володіють жодними фотографіями або рентгенівськими знімками, які могли б проілюструвати фінальну стадію лікування.

ОБГОВОРЕННЯ

Основним експериментальним відкриттям цього клінічного випадку є той факт, що накладений у бойових умовах джгут може успішно залишатись на кінцівці тривалий час, незважаючи на те, що ризик виникнення ускладнень загалом зростає зі збільшенням тривалості використання джгута. Використання джгута впродовж від 1 до 3 годин під час хірургічних операцій є загальноприйнятною і звичною практикою, з якою пов'язаний дуже низький ризик ускладнень (5, 7, 8). Тим не менш, існує загальна думка про те, що скелетні м'язи не можуть витримувати ішемію довше, ніж 6 годин без повної втрати життєздатності (8). Більше того, визначним є той факт, що у розглянутому клінічному випадку кінцівку вдалося врятувати після більш як 16-годинної ішемії, створеної у результаті накладання джгута. Серед пояснень цієї очевидної невідповідності можна відзначити таке: периферичне пошкодження, охолодження кінцівки впродовж носіння джгута (9-11), а також доцільні фасціотомії для подолання синдрому підвищення тиску в тканинах. До того ж упродовж 6 годин після поранення міг відбутися короткий період реперфузії, про що свідчить відновлення кровотечі з рани, що також могло вплинути на кінцевий результат.

З метою невідкладної допомоги джгути були накладені на середину передпліччя, обмежуючи ішемію шкіри, нервів, жил та м'язів кисті руки та зап'ястя. У той час як шкіра та жили є порівняно нечутливими до ішемії, м'язи і нерви сприйнятливіші до пошкоджень в результаті ішемії та реперфузії (12). У цьому випадку, якщо відкинути слабкість, спричинену втратою жил через характер поранення, схоже на те, що пошкодження м'язів, підтверджене залишковою слабкістю, було спричинене накладанням джгута. Тривале перебування джгута на кінцівці негативно впливає на здатність м'язів скорочуватися, що пов'язують зі змінами у м'язових клітинах після I-P (13). Синдром перехідного місцевого болю впродовж декількох тижнів після поранення міг бути пов'язаний з травматичним пошкодженням,

пошкодженням нервів внаслідок застосування джгута або іншими лікувальними процедурами. Виявилось, що відсутність гнучкості зап'ястя стала результатом зрощування зап'ястя, за допомогою якого вдалося позбавити пацієнта болю, при цьому кінцева хірургічна ригідність була очікуваною в процесі зрощування. Тривале застосування джгута асоціюється з високим ризиком виникнення синдрому підвищення тиску в тканинах (8, 13). Фасціотомія є звичайною маніпуляцією при бойових пораненнях, нанесених високоенергетичною зброєю, до якої вдаються польові хірурги в умовах обмеженого моніторингу стану пацієнтів та обмеженості хірургічних операцій під час тривалих аеромедичних перельотів та транспортування пацієнтів між шпиталями (14). Імовірно, що фасціотомії сприяли успішному порятунку тканин у цьому клінічному випадку (Зображення 1). На додаток до відповідного хірургічного втручання зовнішнє охолодження кінцівки могло зменшити деякі з очікуваних негативних наслідків тривалого накладання джгута. Охолоджені кінцівки краще переносять довші періоди ішемії (9-11). Неefективність першого джгута та потреба в сильнішому затягненні другого джгута можуть означати, що реальна холодна ішемія кінцівки в цьому клінічному випадку могла тривати менш як 16 годин. В умовах, коли неможливо забезпечити класифікацію поранених за тяжкістю їхніх ран, а також забезпечити їхню евакуацію, використання джгутів в умовах перестрілки є реальним вибором для пацієнта та його медика.

Накладання джгутів з метою контролю кровотечі на полі бою практикується вже понад 300 років (4). Рекомендації щодо застосування джгутів коливаються на зразок маятника між аргументами "за" та "проти" (3, 15, 16). У мирний час хірурги, що практикують у лікарнях, в основному намагаються обійтись без джгутів, водночас в умовах війни застосування джгутів відстоюють медики, які надають невідкладну допомогу на полі бою (3, 17). Аналіз даних з В'єтнаму та Битви в Могадішо виявив, що від 7 % до 10 % загиблих під час бойових дій солдат померли через знекровлювання внаслідок поранень кінцівок, ці кровотечі можна було б припинити за допомогою накладання джгутів. Такі дані змусили авторитетних військових медиків переглянути питання про баланс між потенційною можливістю рятування життя та страхом перед можливими ускладненнями (6, 16, 19, 20). Наразі в рекомендаціях міститься настанова про використання джгутів для припинення сильної кровотечі з кінцівок в умовах обстрілу (21). Подальша еволюція доктрини застосування джгутів пов'язана зі значним збільшенням наявних ефективних джгутів. У результаті лабораторних та польових досліджень за участю добровольців (20) було розроблено дієві, легкі та прості у використанні джгути, якими і забезпечили усіх солдатів, морських піхотинців та військ спеціального призначення, які брали участь в операціях. Відгуки залучених хірургів (у тому числі одного з нас, Дж.Ф.К.) свідчать про те, що ці медичні засоби справді рятують життя.

Ускладнення, пов'язані з накладанням джгутів, спричинені низкою різних процесів. Компресія та перетискання тканин під джгутом можуть призвести до паралічу нервів (3, 13, 22-24) та травми шкіряних покривів (13, 25). I-P пошкодження тканин під джгутом та віддалено від нього призводять до запалення (8, 26) та оксидативного й нітрозативного стресу (27), які призводять до некрозу м'язів з подальшою втратою функції (7, 8, 28). Мікросудинні пошкодження призводять до набряків, які своєю чергою можуть сприяти розвитку гострого синдрому підвищення тиску в тканинах (29, 30), хоча у випадках пацієнтів з травмованими кінцівками складно чітко розмежувати вплив I-P та безпосередньо самої травми. Синдроми підвищення тиску виникають за низьких показників тиску в тканинах зі зменшенням кров'яного тиску (31), що потенційно створює більш високий ступінь ризику для пацієнтів з гіповолемічною гіпотензією. Інтенсивні реанімаційні маніпуляції з травмованими пацієнтами можуть призвести до виникнення синдрому підвищення тиску в тканинах пошкоджених кінцівок (32-34), який здатен посилитися в сполученні з накладанням джгута, з огляду на додаткові реакції. Відомо дуже мало клінічних випадків, які реєструють у пацієнтів, у яких після хірургічного накладання джгута розвинулись гострий некроз скелетних м'язів та гостра ниркова недостатність (35, 36).

Для мінімізації негативних наслідків накладання джгута докладено чимало зусиль. Під час дослідження виявлено, що існує зворотня залежність між тиском джгута, необхідним для перетискання артеріального кровотоку, та обхватом кінцівки (37-40). Крім того, існує зворотня залежність між шириною джгута та тиском, необхідним для перетискання артеріального кровотоку (38-40). Ці міркування були враховані в процесі розроблення пневматичних хірургічних джгутів та рекомендацій щодо їх застосування. На полі бою неможливо використовувати широкі пневматичні засоби, зважаючи на те, що польовий джгут має бути компактним засобом невеликої ваги, який можна було б накладати на широкий спектр кінцівок різних розмірів та на різні частини кінцівок, залежно від місця поранення. Не проводилося досліджень даних про коефіцієнт компресійних пошкоджень внаслідок накладання імпровізованих (краватка та палка) джгутів або джгутів типу ремінця. Існує кілька практичних способів мінімізації пошкоджень під час першого невідкладного накладання джгута. До цих способів належать: обмеження періоду перебування джгута на кінцівці завдяки прискоренню евакуації, або перехід до інших методів припинення кровотечі, якщо це можливо, а також обмеження компресійних пошкоджень шляхом контролю міцності затягування джгута, а саме затискання його настільки, щоб тільки припинити кровотечу (21).

Інтенсивність I-P пошкоджень пов'язана з тривалістю застосування джгута (5, 7, 8, 13). Це значною мірою може бути змінено завдяки температурі тканин (9-11). Охолодження кінцівок впродовж ішемії передбачає захист шляхом зменшення метаболічної потреби (41) і

пригнічення капілярної та ендотеліальної дисфункції (42). Клінічний (43-45) та експериментальний (46-48) досвід охолодження кінцівок впродовж ішемії демонструє значні переваги. Типове зниження температури глибоких тканин у цих досвідах становить від 5 °C до 10 °C; однак було продемонстровано, що зниження м'язової температури навіть від 2 °C до 4 °C може мати позитивний ефект (46, 49). Упродовж участі армії США в Італійській кампанії під час Другої світової війни Вольф зі співавторами віддали належне зимовим температурам за їхню сприятливість для використання джгутів на період до 8 годин “без очевидних шкідливих впливів” (50). Існують звіти про успішну реплантацію відсічених кінцівок та пальців завдяки періоду холодної ішемії тривалістю до 94 годин (51, 52). Інтенсивність ішемічного пошкодження безпосередньо залежить від зниження температури тканин до 10 °C; при цьому існує межа користі гіпотермії, оскільки помічено, що температури менш як 5 °C, збільшують м'язові пошкодження (53). На відміну від періоду ішемії, користь гіпотермії впродовж реперфузії є неоднозначною (54-56). Підвищення температури тканин має протилежний ефект порівняно зі зниженням цієї температури, і навіть незначне підвищення може виявитись надзвичайно шкідливим (11, 57, 58).

У хірургічній практиці звичайним є метод періодичної реперфузії, за допомогою якого можна значно збільшити тривалість безпечного накладання джгута. Проте у випадку накладання джгута на полі бою зазвичай немає можливості обмежити кровотечу під час періодичних реперфузій, так само як і можливості введення препаратів крові на заміну втрачених. Як свідчить історія застосування такого методу, ця практика є невиправданою, оскільки призвела до багатьох смертей внаслідок поступового знекровлювання (50), тому сучасні рекомендації щодо застосування джгутів чітко забороняють такий спосіб (21).

Незважаючи на те, що періодична реперфузія на полі бою – це нерозсудливий крок, джгути не є безумовними засобами контролю кровотечі, враховуючи питання, пов'язані з I-P, проаналізовані вище, а також ураховуючи пошкодження через перетискання тканин під джгутом і біль, що виникає під час накладання джгута. Невідкладне застосування джгута як допоміжного засобу або навіть першої допомоги для припинення кровотечі є травмувальним контролюючим інструментом, який може врятувати життя. Також слід зважати на те, що джгути належать до сильнодіючих засобів, застосування яких вимагає знань та навичок для оптимального надання допомоги пацієнтам. Проводилось дослідження стійкості пацієнтів до накладання джгутів (59, 60), і виявлено, що витривалість пацієнтів може стати проблематичною протягом тривалого застосування джгута, оскільки накладений впродовж тривалого періоду часу джгут може стати непереносним для притомних пацієнтів (13). У випадках використання джгутів як невідкладних засобів контролю кровотечі необхідно докласти зусиль для переходу до менш травматичних форм контролю кровотечі (6). До

нових досліджених та розроблених гемостатичних засобів невідкладної допомоги долучилися такі: стискальні пов'язки (61), фібринні пов'язки та губки (62, 63), пов'язки (64), цеолітові пов'язки (61), пов'язки з аміноглюкозою (66), а також ін'єкційні рекомбінантні розчини фактора VII людини (62, 63, 67-70). Ці нові продукти випускаються у різноманітних формах, розмірах та виробляються з різних матеріалів, і можуть по-різному застосовуватись на ранах різного розміру, форм, а також на тканинах. До того ж пересторога щодо пошкоджень внаслідок стискання джгутом тканин призвела до рекомендації заміни джгутів типу ремінців на менш болісні пневматичні джгути у найкоротші обґрунтовані строки. Тривають дослідження в сфері розроблення фармацевтичних речовин, направлених на обмеження I-P; ці дослідження можуть допомогти у зменшенні побічних ефектів накладання джгутів шляхом обмеження патофізіологічних чинників I-P на м'язи, шкіру, нерви та судинну систему.

Появи саден, пухирів та інших пошкоджень під джгутом можна уникнути за допомогою використання підкладок з пористого матеріалу під джгут (25, 71), одночасно I-P можна послабити шляхом охолодження кінцівок за умови запобігання виникненню холодних травм (72, 73). Медикаментозне лікування або попереднє лікування можуть послабити I-P, однак ще необхідно визначитися з тим, які препарати слід призначати в конкретних випадках (13). Неправильне застосування джгутів може призвести до ще сильнішої кровотечі (74) через знекровлення дистально зруйнованих вен або збільшення гематом, якщо вени перетиснуті під джгутом, але артеріальний кровотік не заблоковано (13). Тим не менш, використання джгутів для припинення знекровлення кінцівок може бути першим заходом, вжитим на полі бою під обстрілом, в умовах темряви, або у випадку масових людських жертв (15, 16, 21).

ВИСНОВКИ

Накладання джгутів припиняє кровотечу та рятує життя, проте іноді ціною стає втрата кінцівок. Описаний у цій роботі клінічний випадок є виключно посмішкою долі; за 16 годин безперервного застосування джгута вдалося не тільки врятувати життя пілота, але й зберегти поранену кінцівку. Це стало можливим завдяки поєднанню таких факторів, як досвідченість медичного персоналу, низькі температури, наявність кваліфікованих хірургів-ортопедів у польовому хірургічному відділенні та в евакуаційному шпиталі, а також (у Сполучених Штатах) всеосяжне реабілітаційне лікування. Поєднування зазначених важливих факторів передбачає, що існує можливість зменшення ризику втрати кінцівки, навіть якщо тактичні перешкоди призводять до необхідності продовжити тривалість застосування джгута шляхом вдосконалення його конструкції, навчання користувачів та охолодження кінцівок. За умови, що обставини складуться оптимальним чином, кінцівки можна врятувати, незважаючи на тривалий період застосування джгута, обумовлений неможливістю евакуювати пацієнта.

Такий сценарій може розвинути у виключних випадках навіть у практиці цивільної медицини, якщо віддаленість місцевості або перебування пацієнта у пастці перешкоджають вчасному доправленню до пунктів надання основного ефективного лікування.

ОСОБЛИВА ПОДЯКА

Автори висловлюють щире подяку Джорджу Піплс, Теду Л. Джерлінджеру, Кору Ламоро, Джону Шwegманну, Джеральду Л. Фарберу, Стівену Роуз та Лізі Шмурр за інформацію, а також Емі В. Ньюленд, доктору наук Чарльзу Е. Вейду та лікарю Джону Б. Холколмбу за рецензування роботи. [George Peoples, Tad L. Gerlinger, Cory Lamoreaux, John Schwegmann, Gerald L. Farber, Steven Rose, and Lisa Smurr, Amy W. Newland, Charles E. Wade, PhD, and John B. Holcolmb, MD]

Примітки

^{1,2}. Прийнято до друку 27 січня 2007 року.

Згідно з Програмою дослідження пошкоджень кісток та м'яких тканин Інституту хірургічних досліджень Армії США, а також з інформацією Управління ортопедії та реабілітації, Військовий медичний центр Брук, Форт Сем Х'юстон, Техас.

Для проведення дослідження не було отримано жодних неінституційних коштів. Конфлікти інтересів або конкурентні інтереси відсутні.

В цій роботі інформація про медичні прилади не розглядається.

Точки зору або твердження, викладені в цій роботі, є особистими поглядами авторів і не повинні розглядатись як офіційні заяви, або такі, що відображають позицію Управління Оборони уряду Сполучених Штатів Америки. Автори є працівниками уряду США. Цю роботу було підготовлено в межах посадових обов'язків авторів, внаслідок чого авторське право не відчужується.

Передруковані видання: лікар Джон Ф. Крех мол., «Програма дослідження пошкоджень кісток та м'яких тканин», Інституту хірургічних досліджень Армії США, 3400 Ролі І. Чамберс Єйв, кімната 292-1, будинок 3611, Форт Сем Х'юстон, Техас 78234-6315 (адреса електронної пошти: john.kragh@amedd.army.mil) [John F. Kragh, Jr, MD, Bone and Soft Tissue Trauma Program, US Army Institute of Surgical Research, 3400 Rawley E. Chambers Ave, Room 292-1, Building 3611, Fort Sam Houston, TX 78234-6315] Авторське право © 2007 належить «Ліппінкотт Уільямс та Уілкінс» [Lippincott Williams & Wilkins]

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Champion HR, Bellamy RF, Roberts CP, et al. A profile of combat injury. J Trauma. 2003;54:S13–S19.

2. Bellamy RF. The causes of death in conventional land warfare: implications for combat casualty care research. *Mil Med.* 1984;149:55–62.
3. Lakstein D, Blumenfeld A, Sokolov T, et al. Tourniquets for hemorrhage control on the battlefield: a 4 year accumulated experience. *J Trauma.* 2003;54:S221–S225.
4. Mabry RL. Tourniquet use on the battlefield. *Mil Med.* 2006;171: 352–356.
5. Klenerman L. Tourniquet time—how long? *Hand.* 1980;12:231–234.
6. Walters TJ, Mabry RL. Issues related to the use of tourniquets on the battlefield. *Mil Med.* 2005;170:770–775.
7. Kam PC, Kavanagh R, Yoong FF, et al. The arterial tourniquet: pathophysiological consequences and anaesthetic implications. *Anaesthesia.* 2001;56:534–545.
8. Blaisdell FW. The pathophysiology of skeletal muscle ischemia and the reperfusion syndrome: a review. *Cardiovasc Surg.* 2002;10:620–630.
9. Allen FM. Resistance of peripheral tissues to asphyxia at various temperatures. *Surg Gynecol Obstet.* 1938;67:746–751.
10. Flatt AE. Tourniquet time in hand surgery. *Arch Surg.* 1972;104:190–192.
11. Bruner JM. Safety factors in the use of the pneumatic tourniquet for hemostasis in surgery of the hand. *J Bone Joint Surg Am.* 1951;33: 221–224.
12. Korthals JK, Maki T, Gieron MA. Nerve and muscle vulnerability to ischemia. *J Neurol Sci.* 1985;71:283–290.
13. Klenerman L. *The Tourniquet Manual: Principles and Practice.* New York: Springer; 2003.
14. West BC, Bentley R, Place RJ. In-flight transfusion of packed red blood cells on a combat search and rescue mission: a case report from operation enduring freedom. *Mil Med.* 2004;169:181–183.
15. Borden Institute (US). *Emergency War Surgery.* 3rd ed. Washington DC: Office of the Surgeon General, US Army, Borden Institute, Walter Reed Army Medical Center; 2004.
16. Butler FK Jr, Hagmann J, Butler EG. Tactical combat casualty care in special operations. *Mil Med.* 1996;161(Suppl):3–16.
17. US Department of Defense. *Emergency War Surgery.* 1st rev. Washington DC: US Government Printing Office; 1975.
18. Mabry RL, Holcomb JB, Baker AM, et al. United States Army Rangers in Somalia: an analysis of combat casualties on an urban battlefield. *J Trauma.* 2000;49:515–528.
19. Calkins D, Snow C, Costello M, et al. Evaluation of possible battlefield tourniquet systems for the far-forward setting. *Mil Med.* 2000;165: 379–384.
20. Walters TJ, Wenke JC, Kauvar DS, et al. Effectiveness of self-applied tourniquets in human volunteers. *Prehosp Emerg Care.* 2005;9:416–422.
21. PHTLS: *Basic and Advanced Prehospital Trauma Life Support; Military Edition.* 5th ed. St. Louis: Elsevier Mosby; 2005.

22. Volpin G, Said R, Simri W, et al. [Nerve palsies in a soldier with penetrating injuries following prolonged use of limb tourniquets]. *Harefuah*. 1999;136:352–355.
23. Middleton RW, Varian JP. Tourniquet paralysis. *Aust N Z J Surg*. 1974;44:124–128.
24. Odinsson A, Finsen V. The position of the tourniquet on the upper limb. *J Bone Joint Surg Br*. 2002;84:202–204.
25. Din R, Geddes T. Skin protection beneath the tourniquet. A prospective randomized trial. *ANZ J Surg*. 2004;74:721–722.
26. Gute DC, Ishida T, Yarimizu K, et al. Inflammatory responses to ischemia and reperfusion in skeletal muscle. *Mol Cell Biochem*. 1998;179:169–187.
27. Rubin BB, Romaschin A, Walker PM, et al. Mechanisms of postischemic injury in skeletal muscle: intervention strategies. *J Appl Physiol*. 1996;80:369–387.
28. Jacobson MD, Pedowitz RA, Oyama BK, et al. Muscle functional deficits after tourniquet ischemia. *Am J Sports Med*. 1994;22:372–377.
29. Odinsson A, Finsen V. Tourniquet use and its complications in Norway. *J Bone Joint Surg Br*. 2006;88:1090–1092.
30. Wakai A, Winter DC, Street JT, et al. Pneumatic tourniquets in extremity surgery. *J Am Acad Orthop Surg*. 2001;9:345–351.
31. Heppenstall RB, Sapega AA, Izant T, et al. Compartment syndrome: a quantitative study of high-energy phosphorus compounds using ³¹P-magnetic resonance spectroscopy. *J Trauma*. 1989;29:1113–1119.
32. Ablove RH, Babikian G, Moy OJ, et al. Elevation in compartment pressure following hypovolemic shock and fluid resuscitation: a canine model. *Orthopedics*. 2006;29:443–445.
33. Block EF, Dobo S, Kirton OC. Compartment syndrome in the critically injured following massive resuscitation: case reports. *J Trauma*. 1995;39: 787–791.
34. Tremblay LN, Feliciano DV, Rozycki GS. Secondary extremity compartment syndrome. *J Trauma*. 2002;53:833–837.
35. Palmer SH, Graham G. Tourniquet-induced rhabdomyolysis after total knee replacement. *Ann R Coll Surg Engl*. 1994;76:416–417.
36. Williams JE Jr, Tucker DB, Read JM 3rd. Rhabdomyolysis-myoglobinuria: Consequences of prolonged tourniquet. *J Foot Surg*. 1983;22:52–56.
37. Shaw JA, Murray DG. The relationship between tourniquet pressure and underlying soft-tissue pressure in the thigh. *J Bone Joint Surg Am*. 1982;64:1148–1152.
38. Moore MR, Garfin SR, Hargens AR. Wide tourniquets eliminate blood flow at low inflation pressures. *J Hand Surg [Am]*. 1987;12:1006–1011.
39. Crenshaw AG, Hargens AR, Gershuni DH, et al. Wide tourniquet cuffs more effective at lower inflation pressures. *Acta Orthop Scand*. 1988;59:447–451.
40. Graham B, Breault MJ, McEwen JA, et al. Occlusion of arterial flow in the extremities at subsystolic pressures through the use of wide tourniquet cuffs. *Clin Orthop*. 1993;286:257–261.

41. Sapega AA, Heppenstall RB, Sokolow DP, et al. The bioenergetics of preservation of limbs before replantation. The rationale for intermediate hypothermia. *J Bone Joint Surg Am.* 1988;70:1500–1513.
42. Schaser KD, Stover JF, Melcher I, et al. Local cooling restores microcirculatory hemodynamics after closed soft-tissue trauma in rats. *J Trauma.* 2006;61:642–649.
43. An H, Jiang D, Ni W. [Experimental study prevention of reperfusion injury of skeletal muscle by local hypothermia and its clinical application]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 1997;11:52–55.
44. Swanson AB, Livengood LC, Sattel AB. Local hypothermia to prolong safe tourniquet time. *Clin Orthop.* 1991;264:200–208.
45. Ikemoto Y, Kobayashi H, Usui M, et al. Changes in serum myoglobin levels caused by tourniquet ischemia under normothermic and hypothermic conditions. *Clin Orthop.* 1988;234:296–302.
46. Skjeldal S, Groggaard B, Nordsletten L, et al. Protective effect of low-grade hypothermia in experimental skeletal muscle ischemia. *Eur Surg Res.* 1992;24:197–203.
47. Awerbuck D, Luong V, Plyley MJ, et al. Skeletal muscle form and function after 4 hr ischemia-hypothermia. *J Surg Res.* 1994;57:480–486.
48. Fish JS, McKee NH, Kuzon WM Jr, et al. The effect of hypothermia on changes in isometric contractile function in skeletal muscle after tourniquet ischemia. *J Hand Surg [Am].* 1993;18:210–217.
49. Skjeldal S, Torvik A, Nordsletten L, et al. Local hypothermia during ischemia or reperfusion in skeletal muscles. *Res Exp Med (Berl).* 1993; 193:73–80.
50. Wolff LH, Adkins TF. Tourniquet Problems in War Injuries. *The Bulletin of the U.S. Army Medical Department.* 1945;37:77–84.
51. Wei FC, Chang YL, Chen HC, et al. Three successful digital replantations in a patient after 84, 86, and 94 hours of cold ischemia time. *Plast Reconstr Surg.* 1988;82:346–350.
52. VanderWilde RS, Wood MB, Zu ZG. Hand replantation after 54 hours of cold ischemia: a case report. *J Hand Surg [Am].* 1992;17:217–220.
53. Wright CJ. Effect of femoral profundaplasty on blood flow. *Can J Surg.* 1983;26:325–327.
54. Skjeldal S, Nordsletten L, Kirkeby OJ, et al. Perfusion in the anterior tibial muscle measured by laser Doppler flowmetry after graded periods of hindlimb ischemia in rats. *Int J Microcirc Clin Exp.* 1993;12:107–118.
55. Wright JG, Araki CT, Belkin M, et al. Postischemic hypothermia diminishes skeletal muscle reperfusion edema. *J Surg Res.* 1989;47: 389–396.
56. Gurke L, Marx A, Sutter PM, et al. Function of fast- and slow-twitch rat skeletal muscle following ischemia and reperfusion at different intramuscular temperatures. *Eur Surg Res.* 2000;32:135–141.
57. Petrsek PF, Homer-Vanniasinkam S, Walker PM. Determinants of ischemic injury to skeletal muscle. *J Vasc Surg.* 1994;19:623–631.

58. Bruner JM. Time, pressure, and temperature factors in the safe use of the tourniquet. *Hand*. 1970;2:39–42.
59. Hutchinson DT, McClinton MA. Upper arm and forearm tourniquet tolerance. *J Hand Surg [Br]*. 1994;19:672.
60. Maury AC, Roy WS. A prospective, randomized, controlled trial of forearm versus upper arm tourniquet tolerance. *J Hand Surg [Br]*. 2002; 27:359–360.
61. Naimer SA, Chemla F. Elastic adhesive dressing treatment of bleeding wounds in trauma victims. *Am J Emerg Med*. 2000;18:816–819.
62. Holcomb JB. Methods for improved hemorrhage control. *Crit Care*. 2004; 8:S57–S60.
63. Kheirabadi BS, Acheson EM, Deguzman R, et al. Hemostatic efficacy of two advanced dressings in an aortic hemorrhage model in Swine. *J Trauma*. 2005;59:25–34.
64. Wedmore I, McManus JG, Pusateri AE, et al. A special report on the chitosan-based hemostatic dressing: experience in current combat operations. *J Trauma*. 2006;60:655–658.
65. Alam HB, Chen Z, Jaskille A, et al. Application of a zeolite hemostatic agent achieves 100% survival in a lethal model of complex groin injury in Swine. *J Trauma*. 2004;56:974–983.
66. Vournakis JN, Demcheva M, Whitson AB, et al. The RDH bandage: hemostasis and survival in a lethal aortotomy hemorrhage model. *J Surg Res*. 2003;113:1–5.
67. Dutton RP, Hess JR, Scalea TM. Recombinant factor VIIa for control of hemorrhage: early experience in critically ill trauma patients. *J Clin Anesth*. 2003;15:184–188.
68. Harrison TD, Laskosky J, Jazaeri O, et al. “Low-dose” recombinant activated factor VII results in less blood and blood product use in traumatic hemorrhage. *J Trauma*. 2005;59:150–154.
69. Martinowitz U, Michaelson M. Guidelines for the use of recombinant activated factor VII (rFVIIa) in uncontrolled bleeding: a report by the Israeli Multidisciplinary rFVIIa Task Force. *J Thromb Haemost*. 2005;3: 640–648.
70. Martinowitz U, Zaarur M, Yaron BL, et al. Treating traumatic bleeding in a combat setting: possible role of recombinant activated factor VII. *Mil Med*. 2004;169(Suppl 12):16–18.
71. De Souza BA. Avoiding tourniquet complications: a simple idea. *Plast Reconstr Surg*. 2003;111:1574–1575.
72. Melamed E, Glassberg E. [Non-freezing cold injury in soldiers]. *Harefuah*. 2002;141:1050–1054.
73. Moran DS, Heled Y, Shani Y, et al. Hypothermia and local cold injuries in combat and non-combat situations—the Israeli experience. *Aviat Space Environ Med*. 2003;74:281–284.

74. Bunker TD, Ratliff AH. Uncontrollable bleeding under tourniquet. Br Med J (Clin Res Ed). 1984;288:1905.