

С. А. Савчанчик¹, А. Л. Стрынкевич¹, В. Г. Богдан¹, О. Р. Назарова²

ФУНКЦИОНАЛЬНОЕ СОСТОЯНИЕ СРЕДИННОГО НЕРВА ПРИ НАЛОЖЕНИИ КРОВООСТАНАВЛИВАЮЩИХ ТУРНИКЕТОВ

Военно-медицинский факультет

в УО «Белорусский государственный медицинский университет»¹,

ГУ «432 Главный военный клинический медицинский центр

Вооруженных Сил Республики Беларусь»²

Применение резинового кровоостанавливающего жгута позволяет быстро и эффективно останавливать наружное кровотечение при ранениях конечностей. Однако длительное нахождение жгута на конечности в случае задержки эвакуации может привести к развитию тяжелых повреждений тканей ниже места наложения жгута. Проведенное исследование позволило установить, что функциональные изменения срединного нерва при наложении разработанной модели кровоостанавливающего турникета (ТКБ-1) достоверно менее выражены в сравнении с использованием резинового кровоостанавливающего жгута. Установленные результаты подтверждают низкий риск развития осложнений при вынужденном длительном наложении турникета.

Ключевые слова: кровоостанавливающий турникет, срединный нерв, нервная проводимость, нейрмиография.

S. A. Sauchanchyk, A. L. Strynkevich, V. G. Bogdan, O. R. Nazarova

FUNCTIONAL STATE OF THE MEDIAN NERVE WHEN APPLYING HEMOSTATIC TOURNIQUET

The use of a rubber hemostatic tourniquet allows you to quickly and effectively stop external bleeding in injuries to the limbs. However, prolonged presence of the tourniquet on the limbs in case of delayed evacuation can lead to severe tissue damage below the place of application of the tourniquet. The study found that the functional changes of the median nerve when applying the developed model of hemostatic tourniquet (TKB-1) are significantly less pronounced in comparison with the use of rubber hemostatic tourniquet. The established results confirm the low risk of complications with the forced prolonged imposition of the tourniquet.

Key words: hemostatic tourniquet, median nerve, nerve conduction, neuromyography.

Входящий в состав индивидуального медицинского оснащения военнослужащих Вооруженных Сил Республики Беларусь жгут резиновый кровоостанавливающий является простым и достаточно эффективным средством для временной остановки наружного кровотечения при ранениях конечностей. Однако он имеет ряд существенных недостатков, среди которых наиболее значимым в физиологическом аспекте является интенсивное повреждение тканей как непосредственно под жгутом, так и ниже места его наложения при вынужденных длительных сроках его нахождения на конечности [3, 10].

Основными внешними факторами, влияющими на риск развития осложнений при наложении жгута, являются продолжительность ишемии [8] и интенсивность сдавления тканей под жгутом [6, 7].

Несмотря на то, что степень ишемии тканей во многом зависит от эластичности жгута, его ширины и локализации наложения (обилие клетчатки, мышц, сосудов), в литературных источниках по оказанию первой помощи часто указывается стандартизованное время, максимального нахождения жгута на конечности – не более двух часов летом и одного часа зимой [9, 11]. По данным Colin G. Murphy с соавт. (2005) непосредственно под жгутом ишемический некроз может возникать после двух часов наложения, а дистальнее места пережатия – после четырех часов окклюзии [1]. Ряд авторов, на основании достаточно обширного опыта применения кровоостанавливающих турникетов на догоспитальном этапе, убедительно доказали, что после 2-х часового наложения жгута ишемическое повреждение тканей конечности отсутствует, но уже после 60-ти минутной ишемии возможны реперфузионные осложнения [3, 4]. Исследования повреждающего действия жгута на ткани у экспериментальных животных указывает, что при малых сроках ишемии (до 2-х часов) изменения

мышечной ткани под жгутом значительно более выражены, чем в дистальных отделах [10].

Чрезмерная интенсивность натяжения жгута также может приводить к травмированию сосудисто-нервного пучка. Известно, что кровотечение из плечевой артерии может быть остановлено при создании давления в 50–75 мм рт. ст., а кровотечение из бедренной артерии – давлением в 100–150 мм рт. ст. [7]. Однако даже при полном перекрытии артериального кровотока кровотечение из раны некоторое время сохраняется вследствие вытекания депонированной крови [4]. В стрессовой обстановке боя это вынуждает раненого накладывать жгут с избыточным давлением.

Graham В. с соавт. (1993) была выявлена зависимость между окружностью конечности, шириной жгута и давлением, которое этот жгут создает на ткани конечности для перекрытия артериального кровотока [2] (рисунок 1).

Выявленная закономерность наглядно демонстрирует, что чем шире лента жгута, тем меньшее давление необходимо создать для перекрытия просвета артерии. При этом если жгут узкий, перекрытие кровотока осуществляется за счет создания избыточного давления самого жгута, а если лента жгута достаточно широкая – артерия пережимается мягкими тканями, находящимися под жгутом [3].

Следует отметить, что ткани под жгутом по-разному чувствительны к повреждающим факторам жгута. Так, повреждение кожи чаще всего происходит из-за механического ущемления при неправильном наложении жгута [6, 7]. Риск повреждения стенки сосудов многократно возрастает при их сопутствующем поражении атеросклерозом. Разрушение мышц развивается при их чрезмерном длительном сдавлении, при этом сегменты конечностей с небольшим числом миоцитов (кисть, стопа) более устойчивы к механи-

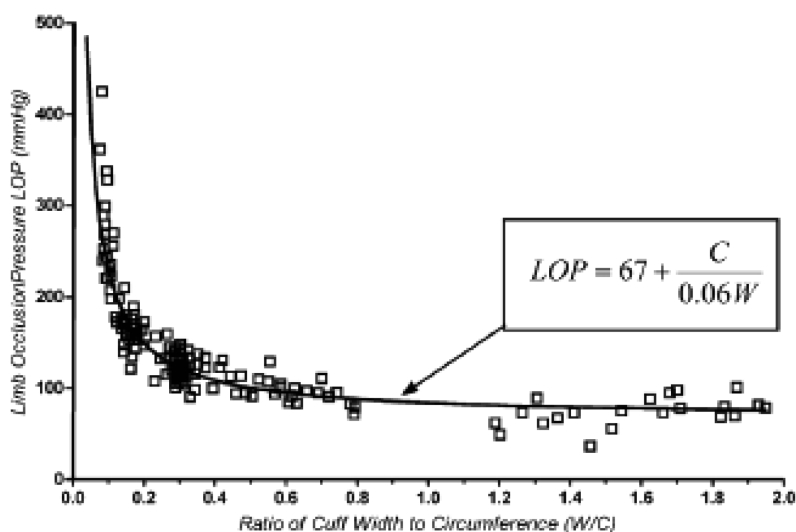


Рис. 1. Давление окклюзии конечности (LOP) в зависимости от отношения ширины жгута (манжеты турникета) (W) к длине окружности конечности (C) (Graham В. et al., 1993)

ческому давлению жгута. В повреждении нервных волокон механическое давление также является ведущим фактором. Считается, что давление менее 300 мм рт. ст. является безопасным для компрессии нерва, а давление от 500 мм рт. ст. и более на протяжении длительного времени достоверно приводит к травматизации нервных волокон, повышает вероятность невропатии и отсроченного восстановления функции [3,7].

По данным John F. Kragh Jr. (2010), наложение жгута при оказании первой помощи в 1,4% случаев приводило к развитию неполных временных параличей конечностей. Иногда параличи не замечались ранеными, и были диагностированы только в условиях стационара. Иных осложнений, вызванных наложением жгута и влияющих на лечение полученных повреждений (ранение, перелом), автор не выявил [3]. Следует отметить, что во всех проанализированных случаях время наложения жгута не превышало 2 часов, т.е. максимального времени, рекомендованного зарубежными специалистами для наложения жгута [1].

Mittal, P. с соавт. (2008) в своих исследованиях изучали влияние, которое оказывалось на срединный нерв пневматическими жгутами с манжетами различной ширины (14 см и 7 см) создавали ишемию на конечности в течение 15 минут. При этом в эксперименте строго регулировалось давление (20-30 мм рт. ст. выше систолического у испытуемого), а время ишемии составляло 15 минут. Достоверные различия в проводимости по нервному волокну лишь через 10 минут сжатия нерва, а восстановление проводимости отмечалось лишь спустя 15 мин для манжеты 7 см и 30 мин для манжеты 14 см [5].

Таким образом, функциональные нарушения проводимости периферических нервов являются одним из наиболее вероятных осложнений при использовании кровоостанавливающего турникета (жгута) для временной остановки наружного кровотечения из сосудов конечностей в том числе в случаях применения без превышения стандартизованного времени.

Цель исследования: провести сравнительный анализ влияния кровоостанавливающих турникетов и жгута Эсмарха на функциональную активность моторных волокон срединного нерва.

Материал и методы

Исследование проводили на базе отделения функциональной диагностики государственного учреждения «432 ордена Красной Звезды главный военный клинический медицинский центр Вооруженных Сил Республики Беларусь». Используемое оборудование: электронейромиограф «Нейро-МПВ-8/16» компании Нейрософт. Оценка функциональной активности моторных нейронов проводили на основании результатов нейромиографии срединного нерва верхней конечности с определением скорости проведения

нервного импульса (м/с). Исследование одобрено комитетом по биоэтике учреждения образования «Белорусский государственный медицинский университет» (протокол № 15 от 31.03.2017 г).

В исследовании приняли участие 32 военнослужащих мужского пола в возрасте от 18 до 23 лет (медиана 19 (18;22)) из числа добровольцев, не имеющих в анамнезе расстройства свертывания крови, тромбоза глубоких вен или других заболеваний сосудов конечностей, гнойничковых заболеваний кожи дистальнее места наложения жгута (турникета). Перед исследованием все испытуемые были информированы о его целях, методике проведения, возможных осложнениях и последствиях.

Сведения об испытуемых представлены в таблице 1.

Таблица 1. Сведения об испытуемых

Параметры	Значения
Количество испытуемых	32
Возраст, лет	19 (18;22)
Рост, см	182 (175,5;184)
Вес, кг	71,5 (67,5;80)
Систолическое артериальное давление, мм.рт.ст.	120 (120;122,5)
Диастолическое артериальное давление, мм.рт.ст	80 (80;80)

Функциональную активность мотонейронов срединного нерва оценивали при наложении турникетов ТКБ-1 (РБ)¹, САТ (США), SOFTT-W (США) и резинового жгута Эсмарха на границе нижней и средней третей плеча.

Нейромиографию срединного нерва на правой и левой верхних конечностях выполняли в положении обследуемого сидя на кушетке. Руки испытуемого располагали на подушке, которая находилась на его коленях.

Проведение нервного импульса оценивали в двух точках:

- на уроне локтевого сгиба (ниже места наложения турникета (жгута));
- на уроне подмышечной впадины (выше места наложения турникета (жгута)).

При отсутствии нарушений проведения импульса плечо одной из рук испытуемого оборачивали подкладочным материалом, поверх которого накладывали жгут Эсмарха. Эффективность перекрытия магистрального кровотока оценивали по наличию пульса на лучевой артерии и по данным пульсоксиметрии. Сразу после наложения жгута повторно выполняли нейромиографию срединного нерва в ука-

¹ патент РБ на полезную модель № 11371 от 29.11.2016 г., патент РФ на полезную модель № 177273 от 14.02.2018 г., регистрационный номер медицинского изделия Мн.-7.116699/7.005-1706 от 07.09.2017 г.

занных выше точках, после чего жгут оставляли на конечности на 5 минут. Через 5 минут от момента наложения жгута вновь выполняли нейромиографию по аналогичной методике, после чего жгут с конечности снимали. Показатели скорости проведения импульса по двигательным волокнам срединного нерва до наложения жгута, сразу после его наложения и через 5 минут его нахождения на конечности вносили в протокол исследования.

Далее на плечо другой руки испытуемого накладывали турникет ТКБ-1 и по аналогичной методике оценивали изменение скорости проведения нервного импульса до наложения турникета ТКБ-1, сразу после его наложения и через 5 минут его нахождения на конечности.

Не менее чем через 1 неделю проводили исследование функциональной активности нейронов срединного нерва при наложении турникетов САТ (на одну руку) и SOFTT-W (на другую руку).

о виде распределения количественных признаков осуществляли на основании критерия Шапиро-Уилка (Shapiro-Wilk's W test). По данным проведенных исследований рассчитывали медиану (Me) и интерквартильный размах (25-й; 75-й процентиля). Результаты представляли в формате Me (25-й; 75-й процентиля). Для сравнения динамики изменения показателя в исследуемых группах использовали критерий Уилкоксона для парных сравнений (Wilcoxon matched pairs test). Для определения различий в независимых группах использовали критерий множественного сравнения Краскела-Уолиса. Различия считали достоверными при $P < 0,05$.

Результаты и обсуждение

Результаты исследования скорости проведения нервного импульса по мотонейронам срединного нерва представлены в таблице 2.

Таблица 2. Динамика скорости проведения нервного импульса по мотонейронам срединного нерва при наложении различных моделей турникетов

Название турникета	Скорость проведения нервного импульса (м/с)			
	перед наложением	сразу после наложения	через 5 мин после наложения	5 мин. после снятия
в точке ниже наложения турникета				
ТКБ-1	57,25 (54,8;59,2)	56,3 (55,2;57,5)*	54,7 (52,1;57,25)**	56,85 (55,65;60,25)
САТ	58,5 (54,5;60,25)	56,75 (54,8;59,9)*	54,2 (51,8;57,4)**	58,2 (54,5;61,7)
SOFTT-W	58,5 (55,4;60,45)	56,25 (54,75;59,3)*	55,7 (52,7;57,6)**	57,5 (55,7;59,9)
Жгут Эсмарха	58,55 (54,9;60,3)	57,6 (55,3;60,3)	55,6 (53,8;57,15)**	58,4 (55,1;61)
в точке выше наложения турникета				
ТКБ-1	67,25 (63,8;70,5)	64 (61,25;67,25)*	60,7 (57,35;64,75)**/#	67,5 (64,1;69,05)
САТ	67,9 (64,5;70,2)	63,9 (60,25;66,45)*	59,45 (56,35;61,75)**	67,7 (65,95;69,15)
SOFTT-W	66,85 (64,6;69,7)	63,45 (60,45;67,05)*	58,4 (56,7;60,45)**	67,4 (64,25;68,25)
Жгут Эсмарха	68,55 (63,8;72,1)	62,9 (59,2;66,6)*	57,5 (54;59,85)**	68,6(66,25;70,05)

Примечание:

* достоверность различий ($p < 0,05$) по сравнению с исходным значением;

** достоверность различий ($p < 0,05$) по сравнению со значением сразу после наложения;

достоверность различий ($p < 0,05$) по сравнению со жгутом Эсмарха.

Выбор руки (правой или левой), на которую накладывали определенную модель турникета (жгута), определяли случайным образом.

Основанием для прерывания исследования считались:

жалобы испытуемого на состояние здоровья любого рода;

интенсивные болевые ощущения испытуемого, вызванные затягиванием ленты турникета;

отсутствие возможности фиксации воротка турникета в фиксирующем устройстве;

выявление нарушений проведения импульса по срединному нерву в ходе исследования до наложения турникета (жгута).

Статистическую обработку данных осуществляли с применением прикладного программного пакета «STATISTICA 10,0». Проверку статистических гипотез

При сравнительной оценке влияния различных типов турникетов (жгута) на функциональную активность моторных волокон установлен ряд определенных закономерностей. В частности выявлено, что скорость проведения нервного импульса при использовании всех турникетов прогрессивно снижалась с увеличением продолжительности наложения как ниже, так и выше места их нахождения.

Так, при стимуляции нерва ниже предполагаемого наложения турникетов исходная скорость проведения импульса во всех группах была практически идентичной ($H(3) = 1,402960$ $p = 0,7048$). Сразу после наложения турникета ТКБ-1 скорость проведения снизилась на 0,95 м/с (1,7% от исходного уровня), а через 5 минут уже на 2,55 м/с (4,5% от начальных значений). Такая же тенденция прослеживается и при наложении турникетов САТ (скорость снизи-

лась соответственно на 1,75 м/с (3,0%) и 4,3 м/с (7,3%), SOFTT-W (соответственно на 2,25 м/с (3,8%) и 2,8 м/с (4,8%)) и жгута Эсмарха (соответственно на 0,95 м/с (1,6%) и 2,95 м/с (5,0%)). Следует отметить, что сразу после наложения жгута Эсмарха в 13 случаях отмечено увеличение скорости проведения импульса ниже наложения турникета. Такие же случаи отмечены при наложении турникетов ТКБ-1 (11 случаев), САТ (8 случаев) и SOFTT-W (8 случаев). Сохранение повышенных значений скорости проведения через 5 минут от момента наложения наблюдалось в 1 случае при наложении жгута Эсмарха и турникета SOFTT-W и в 2 случаях при наложении турникетов ТКБ-1 и САТ.

При сравнении скорости проведения нервного импульса в группах с использованием различных моделей турникетов статистически значимых различий между группами не выявлено как непосредственно сразу после наложения турникетов (жгута) ($N = 1,957734$ $p = 0,5812$), так и по истечении 5 минут после их наложения ($N = 0,8233243$ $p = 0,8439$). При этом через 5 минут после наложения испытуемые субъективно отмечают парестезии дистальнее места наложения турникета (жгута), кожа приобретает землисто-серый цвет.

Полученные данные подтверждают установленные в исследованиях других авторов закономерности изменения функциональной активности нервных волокон ниже места наложения турникетов (жгута). Отсутствие отличий в степени снижения скорости проведения нервного импульса ниже места наложения различных типов турникетов (жгута) обусловлено тем, что ведущим фактором нарушения функции нервных волокон ниже места пережатия является ишемия нервной ткани. Возникающее в ряде случаев повышение скорости проведения нервного импульса в точке ниже места наложения турникета (жгута) связано с реакцией нервной ткани на давление, которое воздействует на участок нерва, оказавшегося под турникетом (жгутом).

Динамика изменения скорости проведения нервного импульса выше места наложения турникетов (жгута) имеет более выраженную амплитуду. Отличия в исходных значениях скорости проведения импульса при использовании различных моделей турникетов (жгута) были статистически не значимы ($N = 2,184395$ $p = 0,5350$). Непосредственно сразу после наложения турникетов ТКБ-1, САТ и SOFTT-W скорость проведения импульса достоверно снизилась соответственно на 3,25 м/с (4,8%), 4,0 м/с (5,9%) и 3,4 м/с (5,1%), а при наложении жгута Эсмарха – на 5,65 м/с (8,2%). Через 5 минут после наложения эти отличия стали более выражены – при наложении турникетов ТКБ-1, САТ и SOFTT-W скорость снизилась соответственно на 6,55 м/с (9,7%), 8,45 м/с (12,4%) и 8,45 м/с (12,6%) от исходного уровня, а при наложении жгута Эсмарха – на 11,05 м/с (16,1%).

При сравнительной оценке динамики скорости проведения нервного импульса в группах с использованием различных моделей турникетов непосредственно сразу после их наложения статистически значимых различий в снижении скорости проведения нервного импульса не отмечается ($N = 1,346984$ $p = 0,7180$). При стимуляции срединного нерва по истечении 5 минут от момента наложения жгута Эсмарха скорость проведения нервного импульса оказалась достоверно на 3,2 м/с ниже, чем при наложении турникета ТКБ-1 ($N = 8,546911$ $p = 0,0360$, $Z_{\text{ТКБ-1-ж.Эсмарха}} = 2,882842$ $p = 0,023646$). При этом в группах с применением турникетов ТКБ-1, САТ и SOFTT-W отличия в скорости проведения нервного импульса выше места их наложения статистической не значимы.

Так как выше места наложения турникетов (жгута) гипоксия нервной ткани отсутствует, то на скорость проведения нервного импульса оказывает влияние только интенсивность сдавления. Поэтому достоверно менее выраженное снижение скорости проведения нервного импульса при наложении турникета ТКБ-1 в сравнении со жгутом Эсмарха подтверждает меньшую интенсивность локального давления на подлежащие ткани при наложении данной модели турникета.

Скорость проведения нервного импульса полностью восстанавливалась через 5 минут после снятия турникетов (жгута), испытуемые жалоб не предъявляли, их кожа приобрела ярко-розовый оттенок. Во всех группах статистически значимые различия с исходными значениями отсутствовали ($p > 0,05$). Обратимость изменения скорости проведения нервного импульса и однотипность ее динамики при использовании различных типов турникетов свидетельствуют о функциональном характере изменений в нервных волокнах при кратковременном наложении кровоостанавливающих турникетов.

Выводы

1. Наложение на верхнюю конечность всех моделей турникетов приводит к прогрессирующему снижению скорости проведения нервного импульса по срединному нерву как выше, так и ниже области их нахождения начиная с момента их использования.
2. Применение разработанного турникета ТКБ-1 сопровождается снижением скорости проведения импульса по срединному нерву сопоставимым по уровню с использованием зарубежных аналогов САТ и SOFTT-W и указывает на схожий характер развивающихся в тканях изменений.
3. Предложенная модель турникета оказывает менее выраженное влияние на снижение скорости проведения нервного импульса выше места его наложения, в сравнении со жгутом Эсмарха, как одномоментно, так и в динамике, что может являться

дополнительным обоснованием минимально травмирующего действия ТКБ-1 на подлежащие ткани.

4. Функционально обратимый характер изменений нервной проводимости срединного нерва при наложении ТКБ-1 позволяет рекомендовать его для широкого применения в рамках мероприятий по оказанию первой помощи с целью временной остановки наружного кровотечения из сосудов конечностей.

Литература

1. Colin, G. Murphy Tourniquet injuries : pathogenesis and modalities for attenuation / Colin G. Murphy, Desmond C. Winter, David J. Bouchier-Hayes // Acta Orthopædica Belgica. – 2005. – Vol. 71 – № 6 – S. 635–645.

2. Graham, B. Occlusion of arterial flow in the extremities at subsystolic pressures through the use of wide tourniquet cuffs / B Graham, MJ Breault, JA McEwen, RW McGraw // Clin Orthop Relat Res. – 1993. – № 286. – S. 257–61.

3. Kragh, J. F. Jr. Use of tourniquets and their effects on limb function in the modern combat environment / J. F. Jr Kragh // Foot Ankle Clin. – 2010. – Vol. 15 (1). – P. 23–40.

4. Lee, C. Tourniquet use in the civilian prehospital setting / C. Lee, K. M. Porter, T. J. Hodgetts / – Emerg. Med. J., 2007. – S. 584–587.

5. Mittal, P. Effect of different cuff widths on the motor nerve conduction of the median nerve: an experimental study / P. Mittal, S. Shenoy, J. S. Sandhu // Journal of Orthopaedic Surgery and Research. – 2008/ – 3:1 – S. 1–6.

6. Rowse, A. The pathophysiology of the arterial tourniquet: a review / A. Rowse // Southern African Journal of Anaesthesia & Analgesia. – 2002. – V. 8, I. 5. – P. 22–29.

7. Tourniquet injuries : pathogenesis and modalities for attenuation / G. Colin [et al.] – Acta. Orthop. Belg., 2005. – S. 635–645.

8. Евич, Ю. Ю. Тактическая медицина современной иррегулярной войны / Ю. Ю. Евич. – 2-е изд. (дополненное и исправленное). – 2016. – 111 с.

9. Корбут, В. Наставление по оказанию помощи раненым и больным / В. Корбут. – Главное военно-медицинское управление Министерства обороны Российской Федерации. – 2000. – С. 68.

10. Рева, А. В. Обоснование системы временной остановки наружного кровотечения при ранениях магистральных сосудов конечностей на догоспитальном этапе: автореф. дис. ... канд. мед. наук. 14.01.17 / А. В. Рева; – СПб, 2011. – 28 с.

11. Элинсон, Г. И. Кровоостанавливающий жгут / Г. И. Элинсон // – Военно-медицинский журнал. – 1947. – № 1. – С. 22–25.