

К. В. Селянинов, А. В. Байтингер, В. Ф. Байтингер

РОЛЬ *VASA NERVORUM* В КРОВΟΣНАБЖЕНИИ КОЖИ МИКРОХИРУРГИЧЕСКИХ ЛОСКУТОВ

K. V. Selyaninov, A. V. Baitinger, V. F. Baitinger

THE VALUE OF *VASA NERVORUM* IN SKIN BLOOD SUPPLY MICROSURGICAL FLAPS

АНО «НИИ микрохирургии», г. Томск

В статье приведены доказательства кровоснабжения кожи нейральных лоскутов интра- и перинеуральными сосудами соответствующих чувствительных кожных нервов.

Цель исследования: экспериментальное изучение возможного участия *vasa nervorum* в кровоснабжении кожно-фасциальных лоскутов белых крыс.

Материал и методы. Объектом исследования стали половозрелые белые крысы линии Wistar обоего пола массой 250–300 г ($n = 58$). Обезболивание достигали путем внутримышечного введения раствора Zoletil-50 в дозе 5 мг на 1 кг массы тела.

Животные были разделены на три группы:

I группа ($n = 13$) – 11 животным были выполнены экспериментальные операции аутотрансплантации нейро-кожного поясничного лоскута по М. Акурек (2004) с преобразованием его в нейральный путем прецизионной перевязки под оптическим увеличением (микроскоп МБС-10) сопровождающих (питающих) *n. cutaneous femoris lateralis* сосудов.

II группа ($n = 13$) – 11 животным были выполнены операции аутотрансплантации осевого несвободного кожно-фасциального нижнего эпигастрального лоскута по F. Finseth в стандартной разметке (2×3 см) с преобразованием его в несвободный нейральный путем прецизионной перевязки в ножке лоскута *a. et v. epigastrica superficialis* с сохранением интактным *n. epigastricus superficialis*. С целью определения наличия нервных проводников в коже преобразованного в нейральный классического эпигастрального лоскута использовали метод импрегнации срезов кожи азотнокислым серебром по Бильшовскому–Грос в модификации А. И. Рыжова (1961).

III группа ($n = 32$) – в данной группе на 4-х животных методом макро- и микропрепаровки выполнено анатомическое изучение нейро-кожной территории *n. epigastricus*. С учетом границ нейро-кожной территории *n. epigastricus* 11 животным выполнена операция аутотрансплантации несвободного нейрального эпигастрального лоскута в стандартных его размерах (2×2 см). В дальнейшем еще 11 животным была выполнена операция аутотрансплантации нейрального эпигастрального лоскута в уменьшенных размерах ($1,5 \times 1,5$ см).

Клиническую оценку состояния несвободных кожно-фасциальных нейральных лоскутов в раннем послеоперационном периоде (1–10-е сут) проводили по таким критериям, как отечность, капиллярный ответ, выраженность шелушения кожных покровов лоскута, наличие некроза.

Выводы. 1. Продольные сосуды *vasa nervorum* наружного эпинеурия кожных чувствительных нервов (*n. cutaneous femoris lateralis*, *n. epigastricus*) достигают своих нейро-кожных территорий и участвуют в кровоснабжении кожи соответствующих нейральных лоскутов. 2. Преобразование осевого нижнего эпигастрального кожно-фасциального лоскута в стандартной разметке в нейральный кожно-фасциальный лоскут невозможно. 3. *Vasa nervorum* кожных чувствительных нервов являются дополнительным источником кровоснабжения осевых кожно-фасциальных лоскутов в случаях, когда чувствительный нерв входит в состав ножки лоскута, а границы ангиосома совпадают с границами нейрокожной территории данного нерва в границах разметки соответствующего лоскута.

Ключевые слова: нейральный лоскут, эпигастральный лоскут, поясничный лоскут, пери- и интраневральные сосуды, кровоснабжение кожи нейральных лоскутов.

The paper demonstrates the possibility of blood supply of the neutral flap skin by intra- and perineural vessels of the corresponding cutaneous nerves.

Goal: experimental study of the possible participation of *vasa nervorum* in blood supply of fasciocutaneous flaps of white rats.

Material and methods. Objects of study were mature White Wistar rats, both male and female, with mass of 250–300 g ($n = 58$). Anesthesia was achieved by intramuscular injection of Zoletil-50 solution in dose of 5 mg per 1 kg of body mass.

The rats were divided into three groups:

I group ($n = 13$) – 11 rats received experimental operations autotransplantation of neurocutaneous lumbar flap by M. Akyurek (2004) with its transformation into the neutral one through precision ligation (under optical magnification with MBS-10 microscope) of accompanying (supplying) *n. cutaneous femoris lateralis* vessels.

II group ($n = 13$) – 11 rats received operations of autotransplantation of axial non-free fasciocutaneous low epigastric flap by F. Finseth in standard markup (2×3 cm) with its transformation into non-free neutral one through precision ligation in flap pedicle of *a. et v. epigastrica superficialis* with *n. epigastricus* kept intact. To determine the presence of nerve fibers in the skin of the classical epigastric flap transformed into the neutral one, the Bielshowsky–Gross method of section impregnation by silver nitrate in A. I. Ryzhov modification (1961) was used.

III group ($n = 32$) – in this group, the neurocutaneous territory of *n. epigastricus superficialis* was studied anatomically by the method of macro- and micropreparation in 4 rats. With allowance made for the boundaries of the neurocutaneous territory of *n. epigastricus*, 11 rats received operation of autotransplantation of non-free neutral epigastric flap in its standard size (2×2 cm). Then, 11 more rats received the operation of autotransplantation of smaller neutral epigastric flap (1.5×1.5 cm).

The clinical assessment of the state of non-free fasciocutaneous neutral flaps in the early postoperative period (1st–10th days) was performed by such criteria as edema, capillary response, severity of flap skin sloughing, presence of necrosis.

Conclusions. 1. Longitudinal vessels of *vasa nervorum* of external epineurium of cutaneous sensory nerves (*n. cutaneous femoris lateralis*, *n. epigastricus*) reach their neurocutaneous territories and take part in blood supply of the skin of corresponding neutral flaps. 2. Transformation of the axial low epigastric fasciocutaneous flap in standard markup into the neutral fasciocutaneous flap is impossible. 3. *Vasa nervorum* of cutaneous sensory nerves is an additional source of blood supply of axial fasciocutaneous flap in the cases, when the sensory nerve enters into the flap pedicle, and the angiosome boundaries coincide with the boundaries of the neurocutaneous territory of this nerve within the boundaries of the corresponding flap.

Keywords: neutral flap, epigastric flap, lumbar flap, peri- and intraneural vessels, blood supply of the skin of neutral flaps

УДК 616.5-089-74:612.133

ВВЕДЕНИЕ

Vasa nervorum – это **интраневральные** и **периневральные сосуды**, участвующие в кровоснабжении периферических нервов (рис. 1, 2) [1]. С нарушением кровоснабжения периферических нервов, обусловленных васкулитом *vasa nervorum* (ишемическая окклюзия), ряд авторов связывают развитие полинейропатий нервов плечевого, поясничного и крестцового нервных сплетений [2]. Наряду с вышеперечисленными сосудами собственно периферических нервов существуют **параневральные сосуды**, сопровождающие чувствительные кожные нервы, проходящие параллельно поверхности кожи и участвующие в кровоснабжении кожи и подкожной клетчатки. Эти сосуды как дополнительный источник кровоснабжения кожи были впервые описаны в 1892 г. французскими анатомами J. Quenu, F. Lejars [3]. На основе этих данных французский пластический хирург А.С. Masquelet в 1992 г. вместе со своими коллегами разработал широко применяемый сегодня нейрокожный «суральный лоскут» [4]. Наш многолетний клинический опыт говорит о высокой надежности нейрокожного сурального лоскута (выживание в 100% случаев), пересеживаемого на параневральные (*a. suralis superficialis*) и собственно *vasa nervorum n. suralis*. В экспериментальной микрохирургии широко

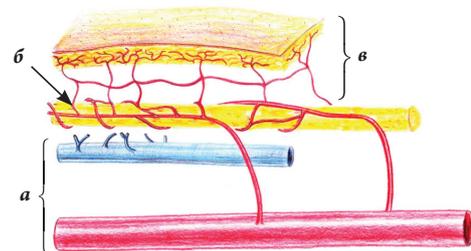


Рис. 1. Схема нейро-кожного лоскута: а – параневральные сосуды (артерия, вена); б – эпинеуральные сосуды; в – нейрокожные сосудистые перфораторы и продольные параневральные сосуды вдоль кожного нерва, соединяющие между собой нейрокожные перфораторы

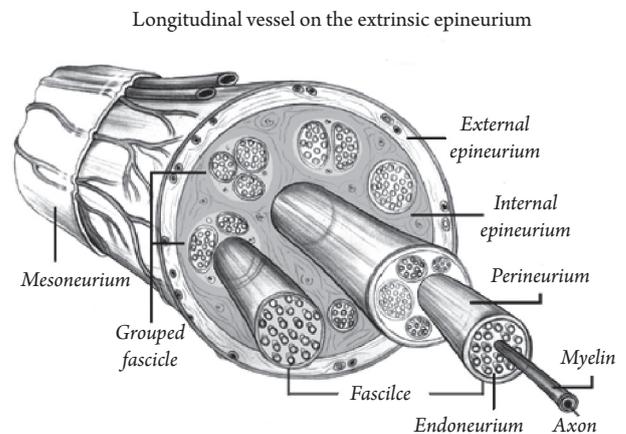


Рис. 2. Схема кровоснабжения нервного ствола (по Robert A. Weber, A. Lee Dellow, 2004)

используется нейрокожный поясничный лоскут на основе *n. cutaneous femoris lateralis* (М. Акурек et al., 2004), выживаемость которого приближается к 50% [5]. С учетом известных анатомических данных по *vasa nervorum* чувствительных кожных нервов можно предполагать участие этих сосудов в кровоснабжении кожи микрохирургических лоскутов.

Цель исследования состояла в экспериментальном изучении возможного участия *vasa nervorum* в кровоснабжении кожно-фасциальных лоскутов белых крыс.

Задачи исследования:

- изучить роль *vasa nervorum n. cutaneous femoris lateralis* в кровоснабжении кожи в области его разветвления (нейрокожной территории по G. I. Taylor et al., 1994) [6];

- изучить роль *vasa nervorum n. epigastricus* в кровоснабжении кожи в области стандартной разметки нижнего эпигастрального лоскута;

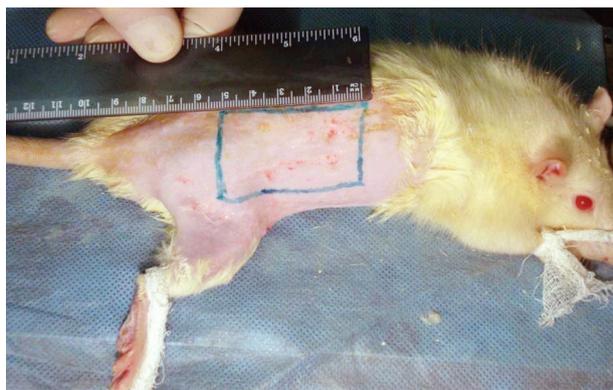
- изучить участие *vasa nervorum n. epigastricus* в кровоснабжении своей нейрокожной территории.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

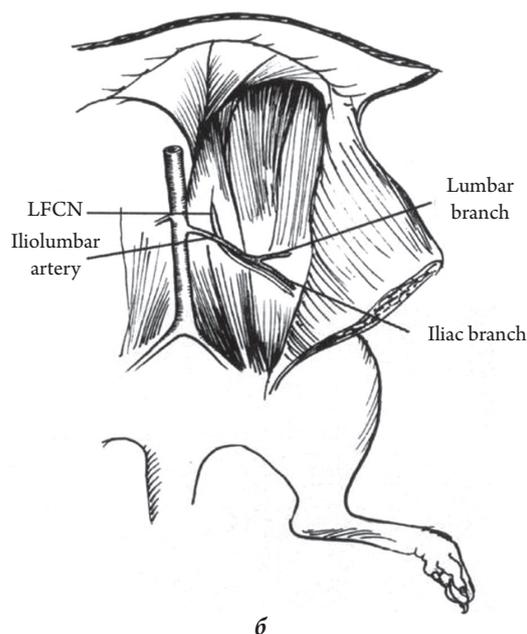
Объектом исследования были половозрелые белые крысы линии Wistar обоего пола массой тела 250–300 г ($n = 58$). Животных содержали в стационарных условиях вивария на обычном питании, при дозированном освещении, с ежедневным осмотром и оценкой состояния. Обезболивание достигали путем внутримышечного введения раствора «Zoletil-50» в дозе 5 мг на 1 кг массы тела.

Животные были разделены на три группы. В **I группе** ($n = 13$) 11 животным были выполнены экспериментальные операции по ауто-трансплантации нейрокожного поясничного лоскута по М. Акурек (2004) с преобразованием его в нейральным путем прецизионной перевязки под оптическим увеличением (микроскоп МБС-10) сопровождающих (питающих) *n. cutaneous femoris lateralis* сосудов. Выполнялась стандартная разметка лоскута (3 × 5 см): краниальная граница – XII ребро, латеральная граница – средняя аксиллярная линия, медиальная – паравертебральная линия, каудально – 2 см выше основания хвоста (рис. 3, 4). Средняя продолжительность операции – 2,5–3 ч. Контролем в данной группе послужили два животных после выполнения ортотопической ауто-трансплантации кожно-фасциального лоскута по М. Акурек (после полного пересечения нейральной ножки).

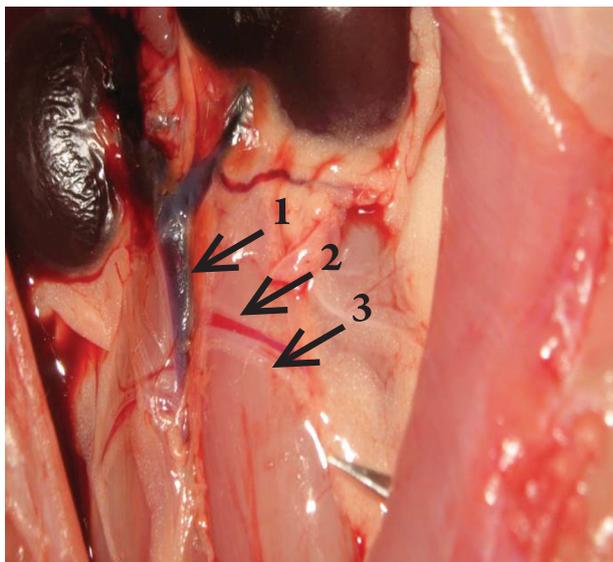
Во **II группе** ($n = 13$) 11 животным были выполнены операции по ауто-трансплантации осевого несвободного кожно-фасциального нижнего эпигастрального лоскута по F. Finseth [7] в стан-



a



б



в

Рис. 3. Топография области подъема нейрокожного поясничного лоскута (по М. Акурек, 2004): а – предоперационная разметка нейрокожного поясничного лоскута; б, в – анатомия сосудов и нервов поясничной области белой крысы (1 – *v. cava caudalis*; 2 – *a. iliolumbalis*; 3 – *n. cutaneous femoris lateralis*)

В дальнейшем выполняли прецизионную перевязку *a. et v. epigastrica superficialis*, таким образом, лоскут приобретал нейральный характер (рис. 6).

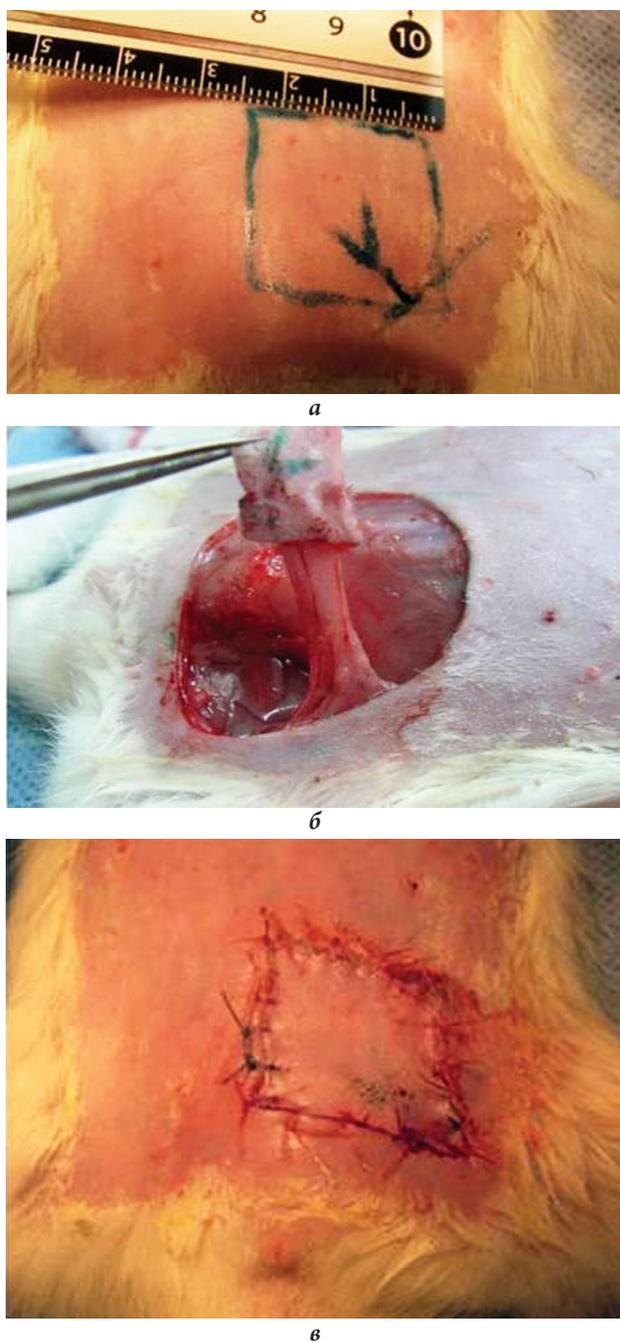


Рис. 6. Подъем нейрального эпигастрального лоскута в границах классического эпигастрального лоскута (по F. Finseth): а – предоперационная разметка эпигастрального лоскута; б – поднятие лоскута и перевязка в ножке лоскута сопровождающих нервный ствол сосудов; в – окончательный вид после операции

Средняя продолжительность операции составила 30–40 мин. Контролем для данной группы служили два животных после выполнения ортотопической аутотрансплантации нижнего эпигастрального кожно-фасциального лоскута

после пересечения его ножки (рис. 7). С целью исследования наличия нервных проводников в коже преобразованного в нейральный классического эпигастрального лоскута использовали метод импрегнации срезов азотнокислым серебром по Бильшовскому–Грос в модификации А. И. Рыжова (1961).

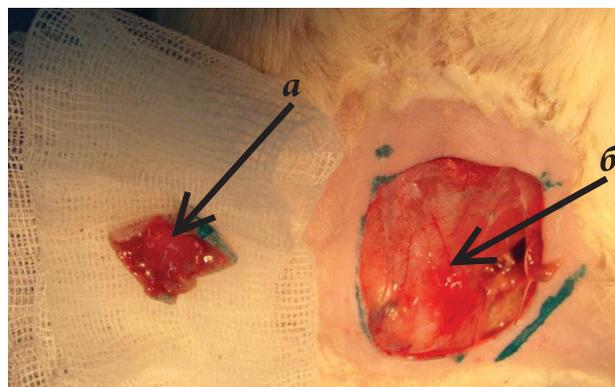


Рис. 7. Свободный нейральный лоскут в классических границах эпигастрального лоскута (по F. Finseth) после пересечения нервного ствола (контроль для II группы исследования): а – свободный нейральный лоскут; б – донорское ложе

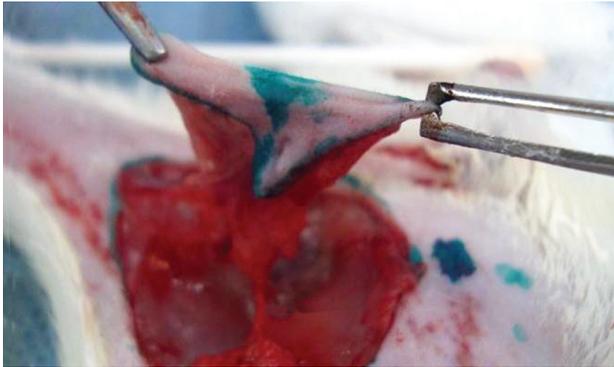
В III группе ($n = 32$) на четырех животных методом макро- и микропрепаровки было выполнено анатомическое изучение нейрокожной территории *n. epigastricus*. На основе полученных анатомических данных уже в новой разметке 11 животным была выполнена операция аутотрансплантации несвободного нейрального эпигастрального лоскута в стандартных его размерах (2×2 см) (рис. 8). С учетом границ нейрокожной территории *n. epigastricus* 11 животным проведена операция аутотрансплантации нейрального эпигастрального лоскута в уменьшенных размерах ($1,5 \times 1,5$ см). В среднем длительность операций составила 30–40 мин. Контролем для последней группы послужили шесть животных, которым была выполнена операция аутотрансплантации нейрального эпигастрального лоскута размерами $1,5 \times 1,5$ см с пересечением ствола эпигастрального нерва (рис. 9). Длительность операции составила 20 мин.

Клиническую оценку состояния несвободных кожно-фасциальных нейральных лоскутов в раннем послеоперационном периоде (1–10 сут) проводили по следующим критериям: отечность, капиллярный ответ, выраженность шелушения кожных покровов лоскута, наличие некроза.

Статистическую обработку полученных результатов производили с помощью программ Statistica 6.0 for Windows и SPSS Statistics 17.0 (коэффициент корреляции Спирмена).



а



б



в

Рис. 8. Разметка и подъем нейрального эпигастрального лоскута в новых анатомических границах: а – нейральный эпигастральный лоскут в новых анатомических границах (2,0 × 2,0 см); б – поднятие нейрального эпигастрального лоскута (лоскут фиксирован на эпигастральном нерве, сопровождающие сосуды лигированы); в – окончательный вид после операции

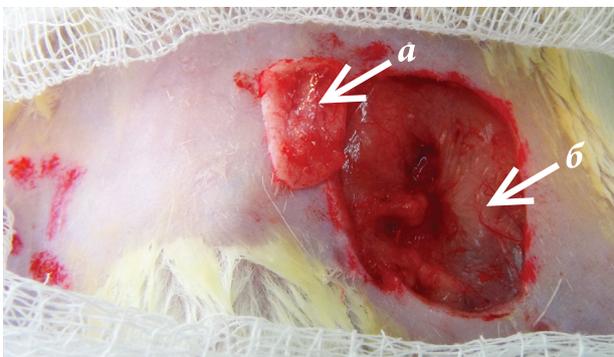


Рис. 9. Нейральный эпигастральный лоскут размером 1,5 × 1,5 см с пересеченным стволом эпигастрального нерва (контроль для III группы исследования): а – свободный кожно-фасциальный лоскут после пересечения ствола эпигастрального нерва; б – донорское ложе

РЕЗУЛЬТАТЫ

I группа. На основе проведенных исследований нами была подтверждена роль сосудов (пара- и интраневральные сосудистые сплетения) латерального кожного нерва крысы в кровоснабжении кожи кожно-фасциального нейрального лоскута по М. Акурек. После подъема лоскута и его трансиллюминации обычным светом был хорошо виден его нейрокожный сосудистый рисунок (рис. 10). Выживаемость таких лоскутов, по нашим данным, составила 41,2%. В первые 3-е сут лоскут отечен, бледно-розового цвета, капиллярный ответ положительный (2 с) (рис. 11). К 7-м сут отек купировался самостоятельно; лоскут розового цвета, капиллярный ответ положительный (рис. 12).

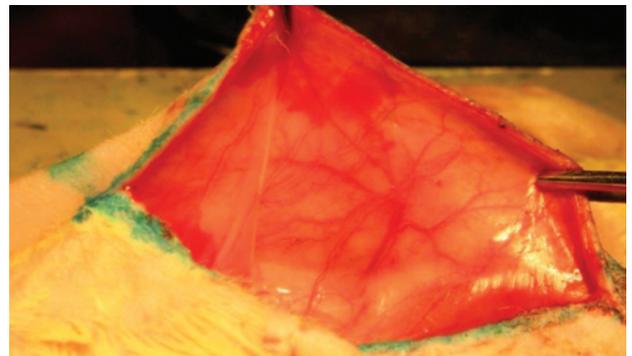


Рис. 10. Сосудистая территория кожно-фасциального нейрального лоскута (по М. Акурек)

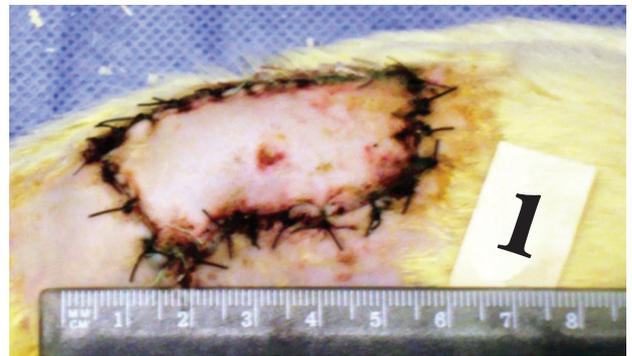


Рис. 11. Нейральный лоскут, 1-е сут после операции (по М. Акурек)



Рис. 12. Нейральный лоскут, 7-е сут после операции (по М. Акурек)

Полное приживание лоскута наблюдали к 10-м сут, восстановление волосяного покрова в области пересаженного лоскута – к 30-м сут (рис. 13). В 58,8% случаев некроз лоскутов наступил в первые 3 сут с момента оперативного вмешательства. Сразу после операции лоскут бледный, капиллярный ответ сомнительный, отека нет. Ко 2-м сут лоскут приобретал синюшную окраску, капиллярный ответ отрицательный. На 3-и сут развивался сухой некроз лоскута (рис. 14).



Рис. 13. Полное восстановление волосяного покрова у животного после подъема нейрального лоскута, 30-е сут после операции (по М. Акурек)

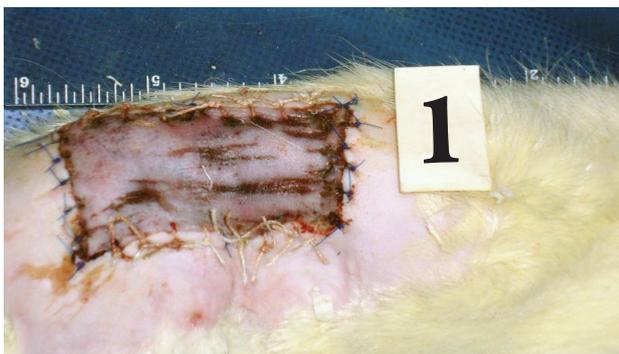


Рис. 14. Тотальный (сухой) некроз нейрального лоскута, 1-е сут после операции (по М. Акурек)

Существенной трудностью при подъеме несвободного нейрокожного лоскута с последующим его преобразованием в нейральный был малый диаметр сосудистых элементов в его ножке (0,3–0,4 мм), что требует больших временных и технических затрат на выделение нерва и перевязку параневральных сосудов. Средняя продолжительность такой операции составила около 2,5–3 ч.

В группе контроля наблюдали 100%-й ишемический некроз лоскутов.

II группа. Выживаемость лоскутов в данной группе эксперимента составила всего лишь 18,2%. В первые 3-е сут лоскут бледного цвета, капиллярный ответ медленный (более 3 с), явных признаков отека нет (рис. 15). Нормализация окраски (розовая) и капиллярного ответа наблю-

дали к 7-м сут. Полное приживание лоскутов происходило к 10-м сут (рис. 16). В 81,8% случаев в первые 3 сут после операции развивался ишемический некроз пересаженных лоскутов (рис. 17).



Рис. 15. Нейральный эпигастральный лоскут в классических размерах, 1-е сут после операции (по F. Finseth)



Рис. 16. Нейральный эпигастральный лоскут в классических размерах, 10-е сут после операции (по F. Finseth)



Рис. 17. Некроз нейрального эпигастрального лоскута в классических размерах (по F. Finseth)

При гистологическом исследовании кожи лоскутов в группе с успешным приживлением было выявлено незначительное количество нервных проводников, в среднем 1–2 в поле зрения (рис. 18). Данное обстоятельство косвенно наводит на мысль о возможно ином территориальном расположении поверхностного эпигастрального нерва. Таким образом, возможность преобразования классического кожно-фасциального эпигастрального лоскута в нейральный весьма сомнительна.

У контрольных животных наблюдали 100%-й ишемический некроз лоскутов (рис. 19).

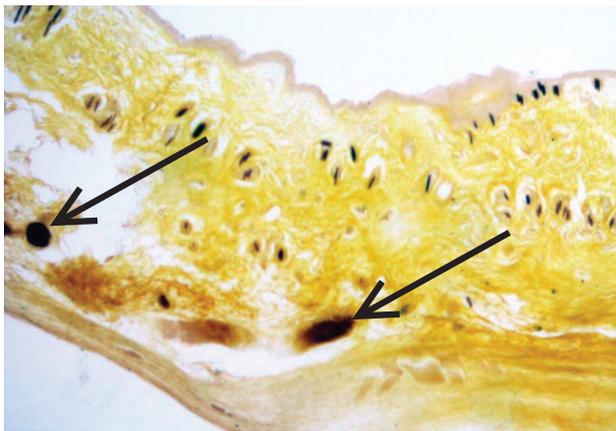


Рис. 18. Поперечный срез кожи нейрального эпигастрального лоскута в классических размерах (по F. Finseth). Импрегнация азотнокислым серебром (по Бильшовскому–Грос в модификации А. И. Рыжова, 1961), стрелка указывает на нервные проводники. Ув. 400



Рис. 19. Некроз свободного нейрального эпигастрального лоскута в классических границах по F. Finseth (группа контроля)

III группа. При макро- и микропрепаровке эпигастрального нерва в границах классического эпигастрального лоскута ($n = 4$) было выявлено, что в начальном своем отделе нерв лежит в одном общем фасциальном футляре с артерией и веной, а затем отклоняется латерально, отдает

две ветви, уходящие на переднебоковую поверхность передней брюшной стенки и внутреннюю поверхность бедра (рис. 20). Таким образом, эпигастральный нерв полностью не участвует в иннервации классического нижнего эпигастрального лоскута и преобразовать его в нейральный не представляется возможным. Иными словами, имеет место несовпадение границ ангиосома и нейросома. Дальнейшие анатомические исследования показали возможность формирования на основе эпигастрального нерва нейрального лоскута размерами 2,0 × 2,0 см. При этом паховая связка делит лоскут на две равные части (рис. 8а), границы нейрального лоскута частично перекрывали каудальную часть классического эпигастрального лоскута.

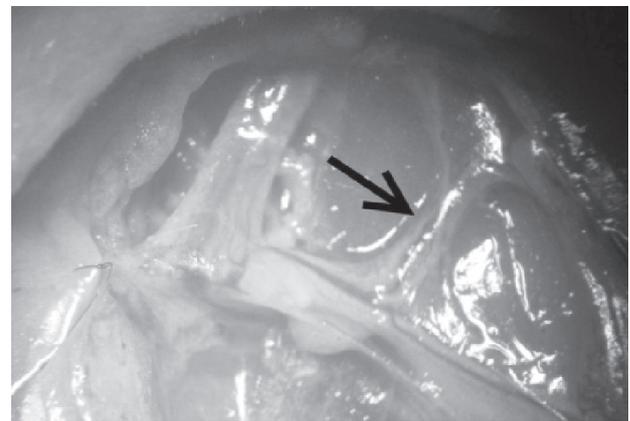


Рис. 20. Топография эпигастрального нерва, стрелкой указана восходящая часть эпигастрального нерва. Ув. 16

У 11 животных после подъема нейрального лоскута размерами 2,0 × 2,0 см (в новых границах) в течение нескольких часов лоскут бледный, наблюдали венозный застой и умеренное пропитывание повязки по ходу раны кровью и серозным отделяемым. В течение первых суток развивался тотальный некроз восьми лоскутов (рис. 21). В последующем животные выгрызали себе некротизированные ткани, и рана заживала вторичным натяжением. У трех животных наблюдали неосложненное приживление лоскута. На 3-и сут лоскут был отечным, бледно-розового цвета, капиллярный ответ слабоположительный (в течение 6 с) (рис. 22). К 10-м сут отек спадал, лоскут приобретал естественную окраску, капиллярный ответ положительный (в течение 3 с).

Таким образом, неосложненное приживление лоскута происходило к 10-м сут и только у трех из 11 животных. Возможно, пара- и интранервные сосуды не справляются полностью с кровоснабжением лоскута в данных размерах. В дальнейшем оперативное вмешательство было выполнено 11 животным, однако размеры лоскута

симметрично уменьшили до $1,5 \times 1,5$ см. У девяти животных в первые сутки отмечали небольшой отек лоскута и гиперемию в области швов, которые купировались полностью к 7-м сут. Окраска лоскута бледно-розовая, капиллярный ответ положительный (в течение 3 с). Полное приживление лоскута происходило к 10-м сут (рис. 23). При гистологическом исследовании кожи данных лоскутов было выявлено наличие большого количества функционирующих сосудов (рис. 24).



Рис. 21. Некроз несвободного нейрального эпигастрального лоскута в новых границах, 3-и сут после операции



Рис. 22. Неосложненное приживление несвободного нейрального эпигастрального лоскута в новых границах, 3-и сут после операции



Рис. 23. Удовлетворительное состояние несвободного нейрального эпигастрального лоскута размером $1,5 \times 1,5$ см, 10-е сут после операции

У двух животных на 3-и сут развивался краевой некроз лоскута, который затем приводил к полному некрозу. В последующем животные выгрызали омертвевшие ткани и рана заживала вторичным натяжением.

При статистической обработке полученных данных в I и II группах выявлена прямая зависимость выживаемости лоскутов от их площади (корреляция достоверна на уровне $r_s = -0,548$).

С целью контроля шести животным была выполнена аутоотрансплантация кожно-фасциального лоскута размером $1,5 \times 1,5$ см после пересечения эпигастрального нерва. В группе контроля наблюдали 100%-й ишемический некроз лоскутов. В первые часы после операции отмечалась бледность лоскута с цианотическим оттенком, капиллярный ответ отсутствовал. На 1-е сут после операции развивался тотальный некроз пересаженного лоскута, дальнейшее заживление раны шло вторичным натяжением (рис. 25).

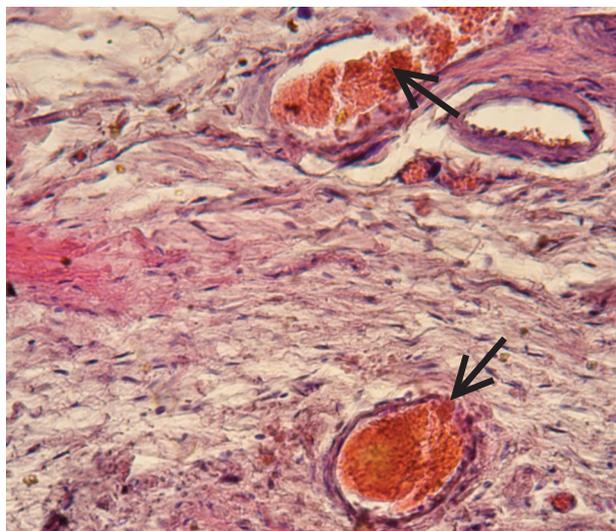


Рис. 24. Поперечный срез кожи нейрального эпигастрального лоскута белой крысы ($1,5 \times 1,5$ см), 10-е сут после операции, стрелки указывают на функционирующие сосуды. Окраска гематоксилином и эозином. Ув. 400



Рис. 25. Некроз свободного нейрального эпигастрального лоскута размером $1,5 \times 1,5$ см (группа контроля)

Прямая зависимость приживляемости лоскута либо его некроза от пола и возраста животных нами не прослежена.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты исследования показали, что нейральный кожно-фасциальный лоскут на основе *vasa nervorum* можно получить путем преобразования нейрокожного лоскута в нейральный (перевязка сопровождающей кожный нерв сосудов). Однако в настоящее время существует явный дефицит анатомических исследований по артериям, сопровождающим кожные (чувствительные) нервы. Подробно описана только одна, сопровождающая *n. suralis – a. suralis superficialis*. Наши анатомические исследования показали невозможность преобразования стандартного осевого кожно-фасциального эпигастрального лоскута у крыс в нейральный в силу несоответствия границ ангиосома и нейросома. Потребовалась иная разметка лоскута с учетом границ нейросома эпигастрального нерва.

Ситуация с экспериментальным изучением нейральных лоскутов складывается таким образом, что в ближайшем будущем возможно появление предложений по выполнению эпиневрального шва нерва «конец-в-конец» с восстановлением кровотока в *vasa nervorum* сшиваемых концов нерва (супермикрохирургия по I. Koshima). В связи с этим наиболее востребованными для специалистов в области реконструктивной микрохирургии периферических нервов станут данные по кровоснабжению периферических нервов. В настоящее время его рассматривают в комплексе, т.е. сосуды нервов (*vasa nervorum*) и соединительно-тканый остов периферического нерва.

Рыхлая параневральная клетчатка простирается далее в структуры нерва в виде эпиневральной, периневральной и эндоневральной соединительной ткани. Эндоневрий окружает каждый аксон в отдельности. Далее аксоны объединяются в фасцикулы, каждый из которых окружен периневрием. Группа фасцикулов формирует нерв, окруженный эпиневрием, тесно связанным с параневральной клетчаткой нерва. Очень часто аксоны нервных клеток и их капилляры по ходу своему занимают позиции в различных фасцикулах, создавая так называемое интраневральное аксональное капиллярное сплетение. Число и толщина фасцикулов варьируют по ходу нервного ствола в зависимости от перехода аксонов из одного фасцикула в другой. Периферические нервы обильно кровоснабжаются по всей их длине. Сосуды в толще нерва образуют интраневральную сосудистую сеть за счет множественных анастомозов, благодаря которым существуют огромные компенсаторные возможности для ликвидации последствий местных сосудистых повреждений. Интраневральная сосудистая сеть образована сосудами различного калибра и функционального назначения: артериолами, капиллярами, посткапиллярами, венами [8].

Известно, что *vasa nervorum* чувствительных кожных нервов происходят из проходящих вдоль них стволов параневральных сосудов, далее эти сосуды достигают наружной оболочки нерва (наружного эпиневрия). В эпиневрии артериальные сосуды имеют продольный ход; далее ветви продольных сосудов наружного эпиневрия проходят через периневрий и достигают эндоневрия, формируя в нем интраневральное капиллярное аксональное сплетение.

Иная анатомия *vasa nervorum* описана в двигательных нервах, например в ветвях лицевого нерва. *Vasa nervorum nervi facialis* происходят из большого числа сосудов мягких тканей головы: *a. temporalis superficialis*, *a. facialis*, *a. facialis transversae*, *a. zygomatico-orbitalis* с коллатеральным сопровождением из *a. supraorbitalis*, *a. temporalis profunda* [9]. По аналогии с известным гематоэнцефалическим барьером (blood-brain barrier) обсуждается так называемый blood-nerve barrier, эффективность которого отстает от первого (blood-brain barrier) [8, 10]. Когда речь идет о blood-nerve barrier гистологи и фармакологи подразумевают наличие «ограниченной» сосудистой проницаемости для различных лекарственных препаратов и токсинов через эндотелиальные контакты («щели») капилляров в эндоневрии, периневрии, эпиневрии. Доказано, что самый мощный blood-nerve barrier находится на границе капилляр-эндоневрий; в сосудах периневрия и эпиневрия этот барьер весьма символический [10].

При первичных и вторичных системных васкулитах в первую очередь поражаются сосуды эпиневрия с последующими нарушениями кровотока в интраневральном сосудистом сплетении, что приводит к развитию периферической нейропатии. Попытки получения экспериментальной модели периферической нейропатии у белых крыс путем удаления участка эпиневрия и части *vasa nervorum* с поверхности седалищного нерва оказались безуспешными. Поэтому удалением участка *vasa nervorum* нельзя моделировать последствия системного васкулита, так как у периферических нервов существует обильный коллатеральный кровоток. В периферических нервах наряду с кровеносными сосудами хорошо представлены лимфатические сосуды [8]. О физиологии *vasa nervorum* можно судить косвенно по результатам ряда клинических и экспериментальных исследований, где использовали интраоперационную видеоангиографию *vasa nervorum* с индоцианином зеленым при компрессионной нейропатии *nn. clunei superiores* [11] и ультразвуковую доплерографию *vasa nervorum* седалищного нерва крыс [12].

По данным видеоангиографии обнаружено отсутствие контрастирования *vasa nervorum* верхних нервов седалища на уровне крыла подвздошной кости и последующее восстановление

их контрастирования после хирургической декомпрессии нервов. Даже в отдаленном периоде после полного восстановления кровотока по *vasa nervorum* боль в спине на уровне крестцово-подвздошного сочленения уменьшалась (с 13,8 до 1,3 по шкале Rolland-Morris). Что касается кровотока в *vasa nervorum* седалищного нерва у крыс, то по данным доплерографии он оказался двунаправленным – с пульсовой волной как в магистральных сосудах (систолической и диастолической); а также три варианта так называемых *distinct vessels*: «отраженный» непьюлирующий негативный кровоток (А), пульсирующий позитивный кровоток (*pulsatile positive*) т.е. с систолическими (вверх) зубцами (Б), кровоток пульсирующий негативный (*pulsatile negative*), т.е. с диастолическими (вниз) зубцами (В). Пока этот феномен остается необъяснимым. С учетом наших экспериментальных данных по изучению выживаемости кожно-фасциального лоскута на кожном (чувствительном) нерве можно утверждать, что *vasa nervorum* однозначно участвуют в кровоснабжении кожи в области афферентной иннервации соответствующего кожного нерва.

Еще в 1995 г. J.A. Bertelli and T. Kaleli привели убедительные доказательства связи параневральной и интраневральной систем кровоснабжения латерального и медиального кожных нервов предплечья с сосудистой системой прилежащей к ним кожи [13]. Кожа наряду с прямыми кожными артериями (термин M. Salmon, 1936) [14] кровоснабжается еще и опосредованно, т.е. артериальными сосудами из параневрального и интраневрального сосудистых сплетений кожного нерва, широко анастомозирующих (на уровне артериол и венул) между собой. Известно, что у человека параневральные сосуды кожных нервов предплечья всегда более крупные (0,2–0,4 мм) [13], чем сосуды фасциального сплетения – одного из четырех источников кровоснабжения кожи [15, 16]; они располагаются на поверхности кожного нерва, либо вблизи (до 5 мм) него. **Для практического внедрения нейрального лоскута в арсенал реконструктивной микрохирургии его выживаемость в 41,2% совершенно недостаточна.** Необходима более надежная выживаемость нейрального лоскута, которую пока не удалось достичь даже в экспериментальных условиях. Считаем, что существуют реальные возможности решения данной проблемы с учетом анатомических данных S.M. Chang, C.L. Hou (1999), S. Wang, S. Luo, X. Hao (2000) [17, 18]. Они сформулировали концепцию «*Veno adipofascial and/or neuro adipofascial pedicled fasciocutaneous flaps*», которая позволяет получить практически 100%-й положительный результат выживаемости таких лоскутов. На основе данной концепции в состав ножки нейральных лоскутов следует включить не только параневральную,

но и окружающую подкожную жировую клетчатку, содержащую тончайшее сосудистое сплетение жировой клетчатки. Вопрос только об объеме этой клетчатки, забираемой вокруг нерва на всем его протяжении, т.е. в пределах ножки. **То есть для практического внедрения нейрального лоскута в арсенал практической реконструктивной микрохирургии необходимо нейральный лоскут в классическом варианте превратить в лоскут *neuro adipofascial pedicled fasciocutaneous*.**

Может возникнуть вопрос: а зачем все эти экспериментальные «изыски», когда существует огромный арсенал свободных и несвободных микрохирургических лоскутов для закрытия мягкотканых дефектов? В настоящее время можно с уверенностью говорить об «эре перфораторных лоскутов» в реконструктивной микрохирургии мягкотканых дефектов. Весьма популярным в настоящее время является переднебоковой перфораторный лоскут бедра в силу большой площади, простоты его подъема, большой длины выделяемой сосудистой ножки с хорошим диаметром перфораторных сосудов и возможностью закрытия донорского ложа без натяжения. Иногда подъем этого лоскута не позволяет интраоперационно обнаружить подходящие для микрососудистого этапа перфораторные сосуды [19]. В этой чрезвычайно сложной ситуации впервые в 2013 г. был использован оригинальный вариант преобразования стандартного (в разметке) переднебокового перфораторного лоскута бедра в свободный нейрокожный перфораторный лоскут на основе параневральных сосудов (диаметром 1,5 мм), проходящих вдоль передней кожной ветви бедренного нерва. От этого сосуда к коже переднебокового лоскута бедра отходят на разном расстоянии друг от друга три нейрокожных перфоратора.

Впервые на такой вариант кровоснабжения переднебокового лоскута бедра обратили внимание L. Zhang et al. (2010) [20]. Они, изучая на анатомическом материале (10 трупов) нейро-сосудистую анатомию переднебокового лоскута бедра, обнаружили большой протяженности артериальный сосуд (до 29 см и диаметром 2,06 мм), проходящий в глубоком подкожно-фасциальном слое передней поверхности бедра вдоль *ramus cutaneous anterior n. femoralis*. Эта артерия отдавала к нерву на всем его протяжении 4–6 сегментальных артерий. Встретившись с таким анатомическим вариантом, микрохирургам удалось включить в кровоток переднебоковой перфораторный лоскут бедра с атипичным сосудистым руслом в кровоток в свободном варианте как нейрокожный перфораторный лоскут с целью закрытия обширного дефекта мягких тканей передней поверхности нижней трети голени [19]. Нет никакой уверенности в том, что природа может преподнести и другие анатомические сюрпризы, когда «стандартный»

несвободный нейрокожный лоскут на верхней или нижней конечностях окажется без соответствующего сосудистого артериального сопровождения кожного нерва. Тогда можно будет вспомнить и о нейральном лоскуте с предварительной delay procedure либо с сохранением непрерывной связи кожно-фасциального нейрального лоскута с донорским ложем посредством «столбика» подковожно-жировой клетчатки вокруг ножки лоскута.

ВЫВОДЫ

1. Продольные сосуды vasa nervorum наружного эпинеурия кожных чувствительных нервов (*n. cutaneous femoris lateralis, n. epigastricus*) дости-

гают своих нейрокожных территорий и участвуют в кровоснабжении кожи соответствующих нейральных лоскутов.

2. Преобразование осевого нижнего эпигастрального кожно-фасциального лоскута в стандартной разметке в нейральный кожно-фасциальный лоскут невозможно.

3. *Vasa nervorum* кожных чувствительных нервов являются дополнительным источником кровоснабжения осевых кожно-фасциальных лоскутов в случаях, когда чувствительный нерв входит в состав ножки лоскута, а границы ангиосома совпадают с границами нейрокожной территории данного нерва в пределах стандартной разметки соответствующего лоскута.

ЛИТЕРАТУРА

1. Robert A. Weber, A. Lee Dellow. Nerve Lacerations: Repair of acute injuries // Hand surgery 1st edition. – 2004. – P. 123–146.
2. Asbury A. K. Sensory neuronopathy // Semin. Neurol. – 1987. – Mar; 7 (1). – P. 58–66.
3. Quenu J., Lejars F. Etude anatomique sur les vaisseaux sanguins des nerfs // Arch. Neurol. (Paris). – 1892. – V. 23. – P. 1–35.
4. Masquelet A. C., Romana M. C., Wolf G. Skin island flaps supplied by the vascular axis of the sensitive superficial nerves: Anatomic study and clinical experience in the leg // Plast. Reconstr. Surg. – 1992. – V. 89. – P. 1115–1121.
5. Akyurek M., Safak T., Sonmez E. A new flap design: neural-island flap // Plast. Reconstr. Surg. – 2004. – V. 114. – P. 1467–1477.
6. Taylor G. I., Gianoutsos M. P., Morris S. F. The neurovascular territories of the skin and muscles: anatomic study and clinical implications // Plastic and reconstructive surgery. – 1994. – V. 94 (1) – P. 1–36.
7. Finseth F. An experimental neurovascular island skin flap for the study of the delay phenomenon – F. Finseth, C. Cutting // Plast. Reconstr. Surg. – 1978. – V. 61, № 3. – P. 412–420.
8. Reina M. A., López A., Villanueva M. C., de Andrés J. A., León G. I. Morphology of peripheral nerves, their sheaths and their vascularization // Rev. Esp. Anesthesiol. Reanim. – 2000. – Dec; 47 (10). – P. 464–475.
9. Ishibe K., Tamatsu Y., Miura M., Shimada K. Morphological study of the vasa nervorum in the peripheral branch of human facial nerve // Okajimas Folia Anat. Jpn. – 2011. – Nov; 88 (3). – P. 111–119.
10. Pagnoux C., Guillevin L. Peripheral neuropathy in systemic vasculitides // Curr. Opin. Rheumatol. – 2005. – Jan; 17 (1). – P. 41–48.
11. Kim K. J., Hyun S. J., Lee C. H., Kwon J. W., Yoon C. Y., Lim J. Y., Jahng T. A., Kim H. J. Comparative analysis between thoracic spinal cord and sacral neuromodulation in a rat spinal cord injury model: a preliminary report of a rat spinal cord stimulation model // Korean J. Spine. – 2013 – Mar; 10 (1). – P. 14–18.
12. Olver D. T., Lacefield J. C., Shoemaker K. J. Evidence of bidirectional flow in the sciatic vasa nervorum // Microvasc. Res. – 2014. – Jul; 94. – P. 103–105.
13. Bertelli J. A., Kaleli T. Retrograde-flow neurocutaneous island flaps in the forearm: anatomic basis and clinical results // Plast. Reconstr. Surg. – 1995. – Apr; 95 (5). – P. 851–859.
14. Salmon M. Les arteres de la peau. – Paris: Masson. – 1936. – P. 1–122.
15. Pearl R. M., Johnson D. The vascular supply to the skin: an anatomical and physiological reappraisal – Part I // Ann. Plast. Surg. – 1983. – Aug; 11 (2). – P. 99–105.
16. Pearl R. M., Johnson D. The vascular supply to the skin: an anatomical and physiological reappraisal – Part II // Ann. Plast. Surg. – 1983. – Sep; 11 (3). – P. 196–205.
17. Chang S. M., Hou C. L. Integument flaps incorporating the nutritive arteries of cutaneous nerves and / or cutaneous veins // Plast. Reconstr. Surg. – 1999. – Sep; 104 (4). – P. 1210–1212.
18. Wang S., Luo S., Hao X. The superficial vein, cutaneous nerve and its nutrient vessels in the forearm: anatomic study and the clinical implication // Zhonghua Zheng Xing Wai Ke Za Zhi. – 2000. – Jul; 16 (4). – P. 212–215.
19. Manaf Khatib M. K., Matthew Ives M. I., Matthew Griffiths M. G. Never fear, a perforator will always appear: the use of a perforator flap based on the vasa nervosum of the anterior branch of the femoral cutaneous nerve // J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg. – 2013. – Nov; 66 (11). – P. 1607–1609.
20. Zhang L., Li Z., Liu J., Sun J., Ma J. Anatomical double bundle reconstruction of medial patellofemoral ligament with allograft tendon in patellar dislocations // Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi. – 2010. – Jan; 24 (1). – P. 100–103.

REFERENCE

1. Robert A. Weber, A. Lee Dellow. Nerve Lacerations: Repair of acute injuries // Hand surgery 1st edition, 2004, pp. 123–146.
2. Asbury A. K. Sensory neuronopathy // Semin Neurol., 1987, Mar; 7 (1), pp. 58–66.
3. Quenu J., Lejars F. Etude anatomique sur les vaisseaux sanguins des nerfs // Arch. Neurol. (Paris), 1892, vol. 23, pp. 1–35.
4. Masquelet A. C., Romana M. C. and Wolf G. Skin island flaps supplied by the vascular axis of the sensitive superficial nerves: Anatomic study and clinical experience in the leg // Plast. Reconstr. Surg., 1992, vol. 89, pp. 1115–1121.
5. Akyurek M., Safak T., Sonmez E. A new flap design: neural-island flap // Plast. Reconstr. Surg., 2004, vol. 114, pp. 1467–1477.
6. Taylor G. I., Gianoutsos M. P., Morris S. F. The neurovascular territories of the skin and muscles: anatomic study and clinical implications // Plastic and reconstructive surgery, 1994, vol. 94, no. 1, pp. 1–36.
7. Finseth F. An experimental neurovascular island skin flap for the study of the delay phenomenon / F. Finseth, C. Cutting // Plast. Reconstr. Surg., 1978, vol. 61, no. 3, pp. 412–420.
8. Reina M. A., López A., Villanueva M. C., de Andrés J. A., León G. I. Morphology of peripheral nerves, their sheaths and their vascularization // Rev. Esp. Anestesiología y Reanimación, 2000, Dec; 47 (10), pp. 464–475.
9. Ishibe K., Tamatsu Y., Miura M., Shimada K. Morphological study of the vasa nervorum in the peripheral branch of human facial nerve // Okajimas Folia Anat. Jpn., 2011, Nov; 88 (3), pp. 111–119.
10. Pagnoux C., Guillemin L. Peripheral neuropathy in systemic vasculitides // Curr. Opin. Rheumatol., 2005, Jan; 17 (1), pp. 41–8.
11. Kim K. J., Hyun S. J., Lee C. H., Kwon J. W., Yoon C. Y., Lim J. Y., Jahng T. A., Kim H. J. Comparative analysis between thoracic spinal cord and sacral neuromodulation in a rat spinal cord injury model: a preliminary report of a rat spinal cord stimulation model // Korean J. Spine, 2013, Mar; 10 (1), pp. 14–18.
12. Olver D. T., Lacefield J. C., Shoemaker K. J. Evidence of bidirectional flow in the sciatic vasa nervorum // Microvasc. Res., 2014, Jul; 94, pp. 103–105.
13. Bertelli J. A., Kaleli T. Retrograde-flow neurocutaneous island flaps in the forearm: anatomic basis and clinical results // Plast. Reconstr. Surg., 1995, Apr; 95 (5), pp. 851–859.
14. Salmon M. Les arteres de la peau. Paris: Masson, 1936, pp. 1–122.
15. Pearl R. M., Johnson D. The vascular supply to the skin: an anatomical and physiological reappraisal – Part I // Ann. Plast. Surg., 1983, Aug; 11 (2), pp. 99–105.
16. Pearl R. M., Johnson D. The vascular supply to the skin: an anatomical and physiological reappraisal – Part II // Ann. Plast. Surg., 1983, Sep; 11 (3), pp. 196–205.
17. Chang S. M., Hou C. L. Integument flaps incorporating the nutritive arteries of cutaneous nerves and / or cutaneous veins // Plast. Reconstr. Surg., 1999, Sep; 104 (4), pp. 1210–1212.
18. Wang S., Luo S., Hao X. The superficial vein, cutaneous nerve and its nutrient vessels in the forearm: anatomic study and the clinical implication // Zhonghua Zheng Xing Wai Ke Za Zhi, 2000, Jul; 16 (4), pp. 212–215.
19. Manaf Khatib M. K., Matthew Ives M. I., Matthew Griffiths M. G. Never fear, a perforator will always appear: the use of a perforator flap based on the vasa nervosum of the anterior branch of the femoral cutaneous nerve // J. Plast. Reconstr. Aesthet. Surg., 2013, Nov; 66 (11), pp. 1607–1609.
20. Zhang L., Li Z., Liu J., Sun J., Ma J. Anatomical double bundle reconstruction of medial patellofemoral ligament with allograft tendon in patellar dislocations // Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi, 2010, Jan; 24 (1), pp. 100–103.

Поступила в редакцию 07.12.2014

Утверждена к печати 15.01.2015

Авторы:

Селянинов Константин Владимирович – канд. мед. наук, доцент, заместитель президента АНО «НИИ микрохирургии» по лечебной работе (г. Томск).

Байтингер Андрей Владимирович – сотрудник лаборатории экспериментальной микрохирургии АНО «НИИ микрохирургии» (г. Томск).

Байтингер Владимир Фёдорович – д-р мед. наук, профессор, президент АНО «НИИ микрохирургии» (г. Томск).

Контакты:

Селянинов Константин Владимирович

тел.: (3822) 64-53-78

e-mail: kostya-ivanow@yandex.ru