

СПАСЕНИЕ ИЛИ АМПУТАЦИЯ КОНЕЧНОСТИ? ОЦЕНОЧНЫЕ ШКАЛЫ И ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ МЯГКИХ ТКАНЕЙ В СИСТЕМЕ ЛЕЧЕНИЯ ТЯЖЕЛЫХ ТРАВМ КОНЕЧНОСТЕЙ С МАССИВНОЙ ПОТЕРЕЙ КОСТНОЙ ТКАНИ

Гребенюк Л.А.¹

¹*Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, e-mail: gla2000@yandex.ru*

Цель работы – анализ современной литературы, описывающей диагностические возможности оценки состояния мягких тканей у пациентов с тяжелыми повреждениями конечностей и использование балльных шкал при выборе оперативного лечения для сохранения конечности. Проблема спасения конечности связана с оценкой жизнеспособности тканей критически поврежденной конечности и состоит в правильном первоначальном решении, стоит ли сохранять («to salvage») конечность. С учетом типа и тяжести травматического повреждения используются различные методики оценки состояния тканей: лазерная доплеровская флоуметрия; полярография кожи или микрозонд, измеряющий напряжение кислорода в мышцах; ультрасонография и доплерография с вживлением датчика в мягкие ткани; импедансометрия; акустическая эластография кожи; двухфазная сцинтиграфия, проводимая интраоперационно, для уточнения степени жизнеспособности тканей и уровня ампутации. Интегративный подход основан на использовании различных оценочных шкал: 1) MESS (Mangled Extremity Severity Score) и 2) индекса спасения конечности – LSI (Limb Salvage Index). Эти балльные шкалы количественно оценивают степень повреждения костных структур, нервов, периферических сосудов и других мягких тканей. Они высокочувствительны и специфичны, но имеют все же относительное значение. В проблеме сохранения или ампутации конечности важен интегративный подход не только в дооперационном периоде, но и в процессе лечения для прогнозирования ампутации и возможных осложнений.

Ключевые слова: тяжелые повреждения, сохранение конечности, ампутация, диагностика жизнеспособности тканей, оценочные шкалы поврежденной конечности.

SALVAGE OR AMPUTATION OF A LIMB? EVALUATION SCALES AND DIAGNOSTICS OF SOFT TISSUE CONDITION IN THE SYSTEM OF TREATMENT OF SEVERE LIMB INJURIES WITH MASSIVE BONE LOSS

Grebenyuk L.A.¹

¹*FSB «National Ilizarov Medical Research Center for Traumatology & Orthopedics», MH of Russia, Kurgan, e-mail: gla2000@yandex.ru*

The aim of the work is to analyze the current literature on diagnostic capabilities of assessing the state of soft tissues in patients with severe limb injuries and the use of point scales in choosing surgical treatment for limb preservation. The problem of "saving" the limb is related to the assessment of the viability of the tissues of a critically damaged limb and consists in the correct initial decision whether to save («to salvage») the limb. Taking into account the type and severity of traumatic injury, various methods of assessing the state of tissues are used: laser Doppler flowmetry; polarography or micro-probe, which measures the oxygen tension in the muscles; ultrasonography and Dopplerography with implantation of the sensor in soft tissues; impedance measurement; skin acoustic-optical measurement; two-phase scintigraphy, performed intraoperatively to clarify the degree of tissue viability and amputation level. The integrative approach is based on the use of various evaluation scales – MESS (Mangled Extremity Severity Score) and Limb Salvage Index-LSI (Limb Salvage Index). These score scales quantify the extent of damage to bone structures, nerves, peripheral vessels, and other soft tissues. They have a high sensitivity and specificity, but still have a relative value. In the problem of preservation or amputation of a limb, an integrative approach is important not only in the preoperative period, but also in the treatment process to predict possible complications.

Keywords: limb salvage, amputation, severe damage, diagnosis of tissue viability, mangled extremity severity score, the prediction of complications.

Проблема спасения конечности связана с оценкой жизнеспособности тканей. При открытых переломах длинных костей частота посттравматических дефектов мягких тканей может варьировать от 18,0% до 44,1%, а повреждения магистральных сосудов и нервных стволов составляют от 10,0% и 12,0% случаев соответственно. Отмечается, что в зависимости от степени повреждения различных структур конечности и сохранения жизнеспособности тканей имеются абсолютные и относительные показания для спасения конечности [1]. Наличие повреждения конечностей у детей, а также скелетная открытая травма с сохранением чувствительности у взрослых служат абсолютными показаниями для спасения конечности [1]. А по мнению R.H. Lange (1989), полное анатомическое разрушение заднего большеберцового нерва у взрослых и повреждение тканей с теплым ишемическим периодом (with warm ischaemia time beyond six hour), превышающим 6 ч, является показанием для ампутации [2]. К относительным показаниям к ампутации автор относит: сопутствующие заболевания, тяжелую ипсилатеральную травму стопы, многоуровневые травмы и ожидаемый затянувшийся ход реконструкции мягких тканей и скелета. P.R. Wolynsky et al. (2011) считают, что одним из ключевых факторов, связанных с сохранением конечности, является тяжесть повреждения мягких тканей [3]. Подчеркивается необходимость командного подхода врачей различных специальностей в стратегии лечения пациентов указанной категории (ортопеда-травматолога, пластического хирурга, сосудистого хирурга и др.) [3]. Определение воспроизводимых критериев спасения нижних конечностей после тяжелой высокоэнергетической травмы по-прежнему остается одной из самых сложных и спорных областей травматологии. При подобных повреждениях, особенно нижней конечности, нередко прибегают к первичной ампутации конечности. Вместе с тем пациенты, перенесшие ампутации конечностей, представляют значительную медицинскую и социальную проблему [4]. С психологической точки зрения, для пациентов с тяжелыми повреждениями нижних конечностей важнее сохранить конечность на основе реконструктивных вмешательств, чем отдать предпочтение ампутации [5]. Такие выводы были сделаны на основе метаанализа 1138 пострадавших, среди них 769 больным была произведена ампутация, а 368 пациентам – реконструктивные вмешательства.

Цель работы – анализ современной литературы, описывающей диагностические возможности оценки состояния тканей у пациентов с тяжелыми повреждениями конечностей и интегративный подход с использованием оценочных балльных шкал при решении вопроса о выборе оперативного лечения для сохранения или ампутации конечности и прогнозировании функциональных исходов.

Стратегия оперативного лечения пациентов с серьезным повреждением мягких тканей и обширными дефектами конечности с потерей костной ткани (in a critically injured limb – критически поврежденной конечности) состоит, прежде всего, в правильном первоначальном решении, стоит ли сохранять («to salvage») конечность или предпочтительнее произвести первичную ампутацию. Осуществляется всесторонняя оценка: агента, вызвавшего тяжелые повреждения конечности; времени получения травмы; локализации, размера и характера раны (дефект, раздавливание); наличия инородных тел и загрязнения раны; наличия повреждений сосудов, нервов, сухожилий, костей и степени потери костной массы. Быстрая и тщательная оценка таких параметров, как васкуляризация, чувствительность, состояние мягких тканей и потери костной ткани, позволяет определить тяжесть травмы [1, 2, 6].

К настоящему времени в арсенале врачей имеется ряд методик, оценивающих жизнеспособность тканей, что дает возможность прогнозировать вероятность сохранения конечности или указывает на необходимость ее ампутации. Задачей оперативного лечения таких пациентов является не только сохранение конечности, но и максимально возможное структурно-функциональное ее восстановление. Разработаны различные системы балльной оценки травмированной конечности у такой категории больных.

В настоящее время нашли свое применение балльные шкалы MESS (Mangled Extremity Severity Score) и MESI (Mangled Extremity Syndrome Index) [7]. Отмечается, что тяжелые травмы верхней и нижней конечностей не могут считаться идентичными и иметь аналогичные критерии для ампутации сегмента в силу анатомических особенностей [7]. Эволюционно сложившиеся различия состоят в более богатой сосудистой системе верхней конечности и более эффективных коллатералях, большей плотности капилляров в тканях и относительно небольшой мышечной массе, более высоком уровне резервных возможностей микроциркуляторного русла в мягких тканях, поэтому время ишемии для верхней конечности относительно больше.

Так, в соответствии с балльной шкалой MESS (Mangled Extremity Severity Score), возможно прогнозирование необходимости ампутации тяжело травмированных нижних конечностей [7, 8, 9]. При расчетных значениях баллов по системе MESS, равных или более 7 (≥ 7), с 91%-ной чувствительностью и 98%-ной специфичностью прогнозируется целесообразность ампутации [10, 11]. При оценке по шкале MESI ≥ 20 прогнозируется необходимость ампутации нижних конечностей. Как отмечают М.К. Kumar et al. (2007), шкала MESI оказалась более надежной. Однако авторы пришли к выводу о необходимости дальнейшей верификации системы балльной оценки MESS. На основе комплексного подхода и всестороннего анализа с применением визуальной аналоговой шкалы и краткой формы 36

(SF-36) для всех лечившихся пациентов был сделан вывод об удовлетворительном функциональном исходе [7].

Были разработаны и другие системы подсчета баллов, чтобы помочь хирургу принять трудное решение об ампутации. И, хотя чаще используется оценка тяжести искаленной конечности MESS, чувствительность этой оценочной шкалы, по мнению других авторов, составляет всего 63% [12]. В настоящее время в доступной литературе недостаточно информации о спасении «искаленной» нижней конечности (mangled lower extremity) у детей. Предложенные шкалы оценки тяжести травм имеют разную информативность у детей и взрослых, и эти оценки не должны использоваться в качестве абсолютного показания к ранней ампутации у детей [12].

W.L. Russel et al. (1991) предложили рассчитывать «индекс спасения конечности» – LSI (Limb Salvage Index), количественно оценивающий степень повреждения костных структур, периферических сосудов, нервов и других мягких тканей, повлекшего за собой ишемические расстройства [13]. Однако следует признать относительное значение указанных систем балльной оценки, несмотря на отмечаемую авторами достаточно высокую их чувствительность и специфичность [3, 11, 14].

При высокоэнергетических травмах, классифицируемых как тип ШВ или тип ШС по Густило–Андерсену (1984), с учетом массивного повреждения мягких тканей и загрязнения раны, помимо использования расчетных шкал, необходимы углубленные клинические и лабораторные исследования [15, 16]. При открытых переломах большеберцовой кости в результате взрывной травмы восстановление конечностей для степеней ШВ и ШС по Густило–Андерсену протекает значительно сложнее по сравнению с аналогичными повреждениями в гражданских условиях [14, 17].

Помимо оценки общего состояния больного, масштабности имеющихся дефектов мягких тканей и костей поврежденной конечности, типа повреждения в соответствии с имеющимися классификациями открытых переломов [18], учитывается и целый ряд патофизиологических параметров (таких как состояние трофики, степень сохранности чувствительности сегмента, объем поврежденных тканей и их жизнеспособность). Оценка состояния мягких тканей при тяжелых повреждениях важна как в дооперационном периоде, так и в динамике лечебного процесса для прогнозирования возможных осложнений [19, 20, 21]. Открытые переломы бедренной кости ассоциированы с более тяжелыми осложнениями. В системе лечения тяжелых повреждений конечностей по Илизарову оценка состояния мягких тканей придается важное значение [6, 22, 23].

Методики исследования тканей и кровообращения

В настоящее время используются различные методы исследования состояния мягких тканей.

1. Для оценки характера метаболизма (степени жизнеспособности) в тканях применяется методика определения парциального напряжения кислорода: а) на поверхности ткани – кожи – с помощью микрозондов типа Кларка (полярография) или б) волоконно-оптических зондов, измеряющих парциальное давление кислорода путем гашения флуоресценции красителя. Параметры парциального напряжения кислорода в мышцах при тяжелых переломах конечностей могут иметь важное значение при принятии решений о выборе оперативного вмешательства (ампутация) [24, 25]. Критическим уровнем для жизнеспособности тканей является снижение парциального напряжения кислорода до 10 мм рт. ст. [26].

2. Находит широкое применение лазерная доплеровская флоуметрия – Laser Doppler Flowmetry (LDF), оценивающая перфузию в коже [27]. Применение LDF целесообразно проводить с использованием функциональных проб для выявления резервных возможностей микроциркуляторного русла [27, 28]. В большинстве случаев функциональные пробы проводятся в динамике оперативного лечения и в реабилитационном периоде сохраненной конечности [29]. Ограничением использования LDF служит затруднение интерпретации показателей в случае полной ишемии (биологический ноль), так как получаемые сигналы являются результатом перемещения сигналов-артефактов.

3. M.D. Riedel et al. (2019) предлагают использовать ультразвуковое исследование (УЗИ) для определения величины отека при переломах костей нижней конечности [30], на основе чего авторами создана модель прогнозирования послеоперационных осложнений. При индексе отека более 1,4 делается вывод о развитии раневого осложнения. Высоконадежным методом в дооперационном периоде является также цветная дуплексная сонография [31].

4. Внедрение в практику метода импедансометрии как ранней внутритканевой диагностики жизнеспособности тканей позволяет улучшить результаты лечения больных с тяжелыми повреждениями мягких тканей [32].

5. Предлагается новая методика интраоперационного доплеровского исследования сосудов с имплантируемым в мягкие ткани датчиком, что позволяет отслеживать в динамике лечения при реконструкции нижних конечностей состояние периферического кровообращения [33].

6. Оценка функционального состояния мышц определяет вероятность восстановления у пациентов локомоторной активности [34].

7. Традиционная рентгенография не позволяет обнаружить повреждения мягких тканей, а ультразвуковое исследование опорно-двигательного аппарата целесообразно проводить для выявления нарушения структур, включая травмы мягких тканей и костей, с помощью динамического обследования. Широкое применение находит ультразвуковая визуализация мягких тканей в сочетании с электромиографией [35, 36, 37].

8. Среди инвазивных методов следует отметить высокую информативность двухфазной сцинтиграфии (^{99m}Tc), которая, по мнению S. Durante et al. (2017), в ряде случаев предпочтительнее магнитно-резонансной томографии [38]. Авторы отмечают, что особенно остро проблема диагностики жизнеспособности мышц верхней конечности для более точного определения уровня ампутации стоит у детей. В их работе описаны расхождения результатов магнитно-резонансной томографии и двухфазной сцинтиграфии верхней конечности при определении уровня ампутации у ребенка. Интраоперационная двухфазная сцинтиграфия более точно указала на существенные отклонения метаболизма в костной ткани, что позволило обоснованно уточнить уровни ампутации [38].

Восстановление удовлетворительной функции травмированной конечности является основной целью, но, если имеются серьезное (критическое) повреждение мягких тканей и массивная потеря костной ткани, ампутация может быть предпочтительной [15]. Для достижения этой цели первостепенное значение имеют правильный выбор пациента, своевременная реконструкция и выбор стратегии лечения, наиболее подходящей для пациента, т.е. вопрос о спасении конечности должен быть индивидуализированным. Оценка оптимального уровня ампутации травмированной конечности в ряде случаев является исключительно сложной. В связи с этим разработаны соответствующие неинвазивные и инвазивные вспомогательные методы для помощи в выборе уровня ампутации [39].

Заключение. Проблема оценки состояния тканей и их жизнеспособности при тяжелых повреждениях конечностей остается актуальной. В зависимости от текущего состояния травмированной конечности при решении вопроса о ее сохранении (спасении) или ампутации дополнительно используются различные диагностические методики исследования.

Предлагаемые критерии оценки состояния мягких тканей зависят не только от характера и тяжести повреждения, но и того, какой сегмент поражен (верхняя или нижняя конечность), возраста пациента и наличия сопутствующих заболеваний, общего физического состояния при политравме.

Определение воспроизводимых критериев спасения нижних конечностей после тяжелой высокоэнергетической травмы по-прежнему остается одной из самых сложных и

спорных областей травматологии. При подобных повреждениях, особенно нижней конечности, нередко прибегают к первичной ампутации конечности. Вместе с тем пациенты, перенесшие ампутации конечностей, представляют значительную медицинскую и социальную проблему.

На основе командного подхода с участием специалистов различного профиля целесообразно осуществлять всестороннюю оценку: агента, вызвавшего тяжелые повреждения конечности, времени получения травмы; размера и степени загрязнения раны, наличия повреждений сосудов, нервов, сухожилий, костей и степени потери костной массы, наличия инородных тел и загрязнения раны.

Качественная оценка жизнеспособности мягких тканей достаточно субъективна и не всегда позволяет достоверно судить о состоянии поврежденной ткани, поэтому продолжают разрабатываться и внедряться новые методики оценки состояния тканей. Большинство из таких методик целесообразно применять не только в дооперационном периоде, но и в процессе реконструктивно-восстановительного лечения. Это позволяет вовремя диагностировать развивающиеся осложнения, в том числе инфекционные. В целом, комплекс предпринимаемых лечебных мероприятий и лабораторных исследований повышает вероятность достижения успешного результата лечения – сохранения (спасения) тяжело травмированной конечности и максимально возможного восстановления ее структурно-функционального состояния. Разработанные различные системы балльной оценки поврежденной конечности MESS (Mangled Extremity Severity Score), LSI (Limb Salvage Index) и MESI являются интегральными дополнительными критериями в принятии сложного решения о спасении или ампутации конечности. При оценке по шкале MESI ≥ 20 прогнозируется необходимость ампутации нижней конечности. Для оценки тяжести искалеченной (тяжело травмированной) конечности при использовании шкалы MESS при расчетных значениях баллов, равных или более 7 единиц (≥ 7), с чувствительностью 91% и специфичностью 98%, прогнозируется целесообразность ампутации.

Описанные шкалы оценки тяжести травм MESS и LSI имеют разную информативность у детей и взрослых, и эти оценки не должны использоваться в качестве абсолютного указания на раннюю ампутацию у детей.

Список литературы

1. Kadam D. Limb salvage surgery. Indian J. Plast Surg. 2013. Vol. 46 (2). P. 265-274. DOI: 10.4103/0970-0358.118603.

2. Lange R.H. Limb reconstruction versus amputation decision making in massive lower extremity trauma. *Clin. Orthop. Relat. Res.* 1989. Vol. 243. P. 92–99.
3. Wolinsky P.R., Webb L.X., Harvey E.J., Tejwani N.C. The mangled limb: salvage versus amputation. *Instr. Course Lect.* 2011. Vol. 60. P. 27-34.
4. Сергеев С.В., Минасов Б.Ш., Риос Э.А. Ампутация конечностей и протезирование // *Физическая и реабилитационная медицина, медицинская реабилитация.* 2019. Т. 4. № 4. С. 39-41.
5. Akula M., Gella S., Shaw C.J., McShane P., Mohsen A.M. A meta-analysis of amputation versus limb salvage in mangled lower limb injuries - the patient perspective. *Injury.* 2011. Vol. 42 (11). P. 1194-1197. DOI: 10.1016/j.injury.2010.05.003.
6. Мартель И.И. Чрескостный остеосинтез по Илизарову в комплексном лечении больных с открытыми повреждениями конечностей // *Гений ортопедии.* 2011. № 2. С. 44-48.
7. Kumar M.K., Badole C., Patond K. Salvage versus amputation: Utility of mangled extremity severity score in severely injured lower limbs. *Indian J. Orthop.* 2007. Vol. 41 (3). P. 183-187. DOI: 10.4103/0019-5413.33679.
8. Soni A., Tzafetta K., Knight S., Giannoudis P.V. Gustilo IIC fractures in the lower limb: our 15-year experience. *J. Bone Joint Surg Br.* 2012. Vol. 94 (5). P. 698-703. DOI: 10.1302/0301-620X.94B5.27948.
9. Schirò G.R., Sessa S., Piccioli A., Maccauro G. Primary amputation vs limb salvage in mangled extremity: a systematic review of the current scoring system. *BMC Musculoskelet Disord.* 2015. Vol. 2. 16:372. DOI: 10.1186/s12891-015-0832-7.
10. Behdad S., Rafiei M.H., Taheri H., Behdad S., Mohammadzadeh M., Kiani G., Hosseinpour M. Evaluation of Mangled Extremity Severity Score (MESS) as a predictor of lower limb amputation in children with trauma. *Eur. J. Pediatr. Surg.* 2012. Vol. 22 (6). P. 465-469. DOI: 10.1055/s-0032-1322541.
11. Bakota B., Kopljar M., Jurjević Z., Staresinić M., Cvjetko I., Dobrić I., De Faoite D. Mangled extremity-case report, literature review and borderline cases guidelines proposal. *Coll. Antropol.* 2012. Vol. 36 (4). P. 1419-1426.
12. Stewart D.A., Coombs C.J., Graham H.K. Application of lower extremity injury severity scores in children. *J. Child. Orthop.* 2012. Vol. 6 (5). P. 427-431. DOI: 10.1007/s11832-012-0439-6.
13. Russell W.L., Sailors D.M., Whittle T.B., Fisher D.F. Jr., Burns R.P. Limb salvage versus traumatic amputation. A decision based on a seven-part predictive index. *Ann. Surg.* 1991. Vol. 213 (5). P. 473-480.

14. Doucet J.J., Galarneau M.R., Potenza B.M., Bansal V., Lee J.G., Schwartz A.K., Dougherty A.L., Dye J., Hollingsworth-Fridlund P., Fortlage D., Coimbra R. Combat versus civilian open tibia fractures: the effect of blast mechanism on limb salvage. *J Trauma*. 2011. Vol. 70 (5). P. 1241-1247. DOI: 10.1097/TA.0b013e3182095b52.
15. Gustilo R.B., Mendoza R.M., Williams D.N. Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures *J Trauma*. 1984. Vol. 24 (8). P. 742-746.
16. Sano K., Ozeki S., Sugimoto I., Ogawa M. Three cross leg flaps for lower leg reconstruction of Gustilo type III C open fracture. *Indian J. Orthop. CASE REPORT*. 2016. Vol. 50. No 3. P. 331-334. DOI: 10.4103/0019-5413.181784.
17. Papakostidis C., Kanakaris N.K., Pretel J., Faour O., Morell D.J., Giannoudis P.V. Prevalence of complications of open tibial shaft fractures stratified as per the Gustilo-Anderson classification. *Injury*. 2011. Vol. 42 (12). P. 1408-1415. DOI: 10.1016/j.injury.2011.10.015.
18. Weber C.D., Lefering R., Dienstknecht T., Kobbe P., Sellei R.M., Hildebrand F., Pape H.C. TraumaRegister DGU. Classification of soft-tissue injuries in open femur fractures: Relevant for systemic complications? *J. Trauma Acute Care Surg*. 2016. Vol. 81 (5). P. 824-833. DOI: 10.1097/TA.0000000000001216.
19. Мартель И.И., Гребенюк Л.А., Долганова Т.И. Устранение обширного мягко-тканного дефекта бедра посредством дермотензии по технологии Г.А. Илизарова // *Гений ортопедии*. 2016. № 4. С. 109-113.
20. Гребенюк Л.А., Кобызев А.Е., Гребенюк Е.Б., Ивлиев Д.С. Методика определения пластических резервов кожного покрова у пациентов с ортопедической патологией // *Медицинская наука и образование Урала*. 2013. Т. 14. № 4 (76). С. 11-17.
21. Grebenyuk L.A., Grebenyuk E.B. Express diagnosis of mechano-biological limb skin condition during prolonged dosed stretching in orthopedics. In book: *Biomechanics and Biomaterials in Orthopedics* (Poitout D.G. Ed.). London, 2016. P. 241-251. DOI: 10.1007/978-1-84882-664-9 21.
22. Мартель И.И., Гребенюк Л.А. Замещение дефекта мягких тканей опорной поверхности стопы по методике Илизарова под контролем механо-биологического состояния кожи // *Политравма*. 2018. № 1. С. 39-46.
23. Pipitone P.S., Rehman S. Management of traumatic bone loss in the lower extremity. *Orthop Clin North Am*. 2014. Vol. 45 (4). P. 469-482. DOI: 10.1016/j.ocl.2014.06.008.

24. Seekamp A., van Griensven M., Ziegler M., Günderoth M. Transcutaneous PO₂ measurement in compound fractures. *Eur. J. Emerg. Med.* 1995. Vol. 2 (2). P. 69-74. DOI: 10.1097/00063110-199506000-00003.
25. Сапин М.Р., Милюков В.Е., Полунин С.В. Проблема оценки жизнеспособности мягких тканей в профилактике послеоперационных осложнений при травматических повреждениях конечностей. // *Анналы хирургии.* 2009. № 1. С. 16-18.
26. McPhail I.R., Cooper L.T., Hodge D.O., Cabanel M.E., Rooke T.W. Transcutaneous partial pressure of oxygen after surgical wounds. *Vasc Med.* 2004. Vol. 9 (2). P. 125-127. DOI: 10.1191/1358863x04vm539oa.
27. Grebenyuk L.A., Gryaznykh A.V., Grebenyuk E.B. Skin microcirculation during hypodynamia in orthopaedic patients and cyclic form training. In book: *advances in medicine and biology.* New York, 2018. P. 131-152.
28. Гребенюк Л.А., Исмаилов Г.Р., Данилкин М.Ю. Особенности микроциркуляции у больных с посттравматическими культями пальцев кисти при их оперативном удлинении // *Методология флоуметрии.* 2001. № 5. С. 53-63.
29. Гребенюк Л.А., Грязных А.В., Кучин Р.В. Микроциркуляция в коже конечностей при увеличении продольных размеров сегментов по методу Илизарова и у девушек-легкоатлеток с циклическим типом тренировочных воздействий // *Современные проблемы науки и образования.* 2018. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=28420> (дата обращения: 20.12.2020).
30. Riedel M.D., Parker A., Zheng M., Briceno J., Staffa S.J., Miller C.P., Kaiser P.B., Wu J.S., Zurakowski D., Kwon J.Y. Correlation of Soft Tissue Swelling and Timing to Surgery with Acute Wound Complications for Operatively Treated Ankle and Other Lower Extremity Fractures. *Foot Ankle Int.* 2019. Vol. 40 (5). P. 526-536. DOI: 10.1177/1071100718820352.
31. Ensaf F., Babl M., Conz C., Rueth M.J., Greindl M., Fichtl B., Herzog G., Us Mueller J., Spies M. The efficacy of color duplex sonography in preoperative assessment of anterolateral thigh flap. *Microsurgery.* 2012. Vol. 32 (8). P. 605-610. DOI: 10.1002/micr.20835.
32. Супрун А.С. Усовершенствование методов ранней диагностики жизнеспособности тканей при скальпированных ранах конечностей // *Медицина неотложных состояний.* 2016. № 6 (77). С. 85-89.
33. Abdou S.A., Sharif-Askary B., Zolper E.G., Evans K.K. Intraoperative Utility of the Implantable Doppler in Lower Extremity Reconstruction: A Matched Case-control Study. *Plast Reconstr. Surg. Glob Open.* 2020. Vol. 25.8 (11): e3229. DOI: 10.1097/GOX.0000000000003229.

34. Щурова Е.Н., Гребенюк Л.А. Влияние хронической недостаточности периферического кровообращения на функциональное состояние мышц нижних конечностей // Физиология человека. 2002. Т. 28. № 5. С. 59-64.
35. Kanaya Y., Taniguchi N. [Usefulness of POCUS in Orthopedic and Trauma Fields]. [Article in Japanese] Rinsho Byori. 2015. Vol. 63 (6). P. 725-732.
36. Гребенюк Л.А., Сайфутдинов М.С., Гребенюк Е.Б. Возможности комплексного использования эхографии и электромиографии в оценке состояния нервно-мышечного аппарата при оперативном удлинении конечностей // Современные проблемы науки и образования. 2016. № 1. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=24139> (дата обращения: 20.12.2020).
37. Grebenyuk L.A., Gryaznykh A.V., Nenasheva A.V., Kochnev E.Ya. Ontogenetic approach in muscle structure in vivo evaluation in surgical treatment of musculoskeletal system pathology (congenital limb deficiency: non-specific infectious spinal diseases). In book: ADVANCES IN MEDICINE AND BIOLOGY. New York, 2020. P. 65-102.
38. Durante S., Perez M.H., De Buys Roessingh A., Boubaker A. Bone and muscular viability assessment before amputation: usefulness of bone scan and (99m)Tc sestamibi dual-phase scintigraphy. BMJ Case Rep. 2017. Vol. 19. bcr2017222258. DOI: 10.1136/bcr-2017-222258.
39. Spence V.A., McCollum P.T., Walker W.F., Murdoch G. Assessment of tissue viability in relation to the selection of amputation level. Prosthet. Orthot. Int. 1984. Vol. 8 (2). P. 67-75. DOI: 10.3109/03093648409145351.